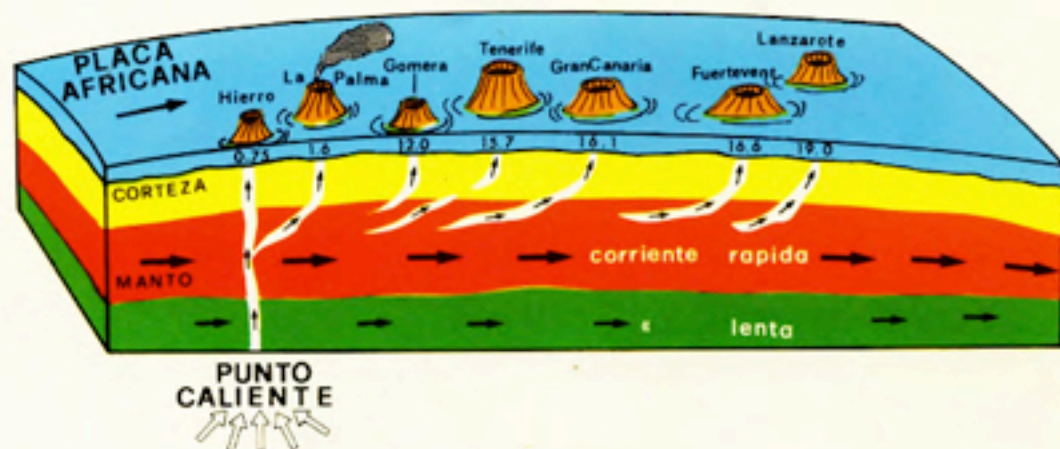


J. C. CARRACEDO

PALEOMAGNETISMO E HISTORIA VOLCANICA DE TENERIFE



AULA DE CULTURA

J. C. CARRACEDO

PALEOMAGNETISMO E HISTORIA VOLCANICA DE TENERIFE

act

AULA DE CULTURA DE TENERIFE

SANTA CRUZ DE TENERIFE

1979

Impreso en: LITOGRAFIA A. ROMERO, S. A.
Avda. Angel Romero, s/n.
Santa Cruz de Tenerife (España)
ISBN 84 - 500 - 3271 - 7
Depósito Legal: TF. 729 - 1979

INDICE

	<u>Páginas</u>
PROLOGO	7
NOTA PRELIMINAR	9
INTRODUCCION	11
HISTORIA VOLCANICA DE LA ISLA	17
CARTOGRAFIA Y ESTRATIGRAFIA PALEOMAGNETICAS	41
DATAACIONES RADIOMETRICAS	53
Análisis de las dataciones publicadas	55
Dataciones adicionales	58
CURVAS DE DERIVA POLAR Y ESTABILIDAD DEL BLOQUE INSULAR	61
APENDICE	73
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	77

PROLOGO

El volcanismo dentro del marco de las Ciencias de la Tierra ha dejado de ser el capítulo atractivo por lo espectacular e interesante por lo anecdótico para transformarse en una de las claves, quizás la más importante, que puedan desentrañar los mecanismos de evolución terrestre y planetaria.

Asociaciones volcánicas como las Canarias vienen funcionando intermitentemente pero con continuidad desde hace unas dos docenas de millones de años. Son por ello laboratorios excepcionales cuyo conocimiento evolutivo supera con mucho el interés puramente local para transformarse en laboratorios naturales que pueden hacernos avanzar en el conocimiento íntimo de la actividad energética del interior del planeta.

Los que las conocemos, sabemos que este Archipiélago es probablemente el más interesante y complejo de todas las regiones volcánicas que salpican la superficie terrestre y por ello es un imperativo de los científicos, y de los responsables del avance científico contribuir a su mejor conocimiento.

La dinámica de los procesos volcánicos se inserta, como en cualquier fenómeno geológico, en un proceso evolutivo histórico cuyos estadios han de ser ordenados y diferenciados en el tiempo, pero por su propia naturaleza las regiones donde dominan las acumulaciones volcánicas son poco abundantes en referencias paleontológicas. Es imprescindible por tanto acudir a métodos físicos para poder establecer las referencias estratigráficas y cronológicas.

El trabajo de J. C. Carracedo es por todo ello un importante jalón en el conocimiento de la evolución de una isla que como la de Tenerife tiene una historia y una estructura lo suficientemente complicadas como para que los métodos de investigación tradicionales puedan solamente establecer varias posibles soluciones. Este trabajo elimina muchas de esas posibles soluciones y al mismo tiempo demuestra cómo, con la cooperación de técnicas muchas veces sencillas como la de determinación de la polaridad magnética de las antiguas emisiones volcánicas, puede establecerse un marco cronológico relativo que, convenientemente jalonado con dataciones radiométricas, esclarece la historia y evolución de una de las parcelas más interesantes del margen del Atlántico.

J. M.^a FUSTER CASAS

Catedrático de Petrología de la
Universidad de Madrid.

NOTA PRELIMINAR

El lector podrá encontrar en este libro una síntesis de los resultados obtenidos de la aplicación de las técnicas geocronológicas hoy disponibles, especialmente el Paleomagnetismo y las dataciones radiométricas, a la resolución concreta de los problemas existentes y a los vacíos de conocimiento de la geología e historia volcánica de Tenerife. Dado que estas técnicas no se habían introducido en España con anterioridad a estos trabajos, su aplicación al estudio de las Islas Canarias requería previamente la culminación de una serie de etapas que enumeramos a continuación por orden cronológico de realización.

La primera fase ¹ consistió en la realización de la parte instrumental y puesta a punto de las técnicas adecuadas para el desarrollo de una investigación en el campo del magnetismo de rocas y del paleomagnetismo. Una vez completa esta etapa se procedió al estudio del comportamiento y características magnéticas y paleomagnéticas de materiales representativos de Tenerife. Estas características, tales como estabilidad de la remanencia magnética, intensidad de magnetización, etc., de materiales lávicos, almagres, intrusiones, etc., era condición previa indispensable para la realización de la cartografía paleomagnética de la Isla y podría ser de gran interés una vez conocida su problemática, en futuros estudios análogos en islas volcánicas.

Seguidamente se procedió a la investigación directa de las posibilidades de empleo de las inversiones del CMT ² en la isla y, de forma más amplia, las posibilidades de la extensión de este método como auxiliar en la elaboración de mapas geológicos a otras islas volcánicas. Por último, tras la realización de un programa de dataciones radiométricas de las muestras seleccionadas se procedió a la aplicación de todos los datos obtenidos a la reconstrucción de la historia volcánica de la isla y a la elaboración de un mapa geológico con un control cronológico preciso.

Todas estas investigaciones pudieron llevarse a cabo gracias a la entusiasta ayuda y dirección del Prof. José María Fúster y a la colaboración de varios compañeros del Departamento de Petrología y Geoquímica, especialmente los Drs. E. Ibarrola, que realizó los análisis del potasio para las dataciones radiométricas, y V. Araña y F. Anguita, que hicieron una lectura crítica del manuscrito. Fue de especial ayuda la orientación prestada en numerosas jornadas de campo por J. M. Navarro.

¹ Gran parte de los datos que se han empleado en la confección de este libro se obtuvieron durante la elaboración de la Tesis Doctoral realizada por el autor bajo la dirección del Prof. José M.^a Fúster.

² Campo magnético terrestre.

En Canadá y EE. UU. prestaron su colaboración los Profesores F. W. Beales y D. W. Strangway del Departamento de Geología de la Universidad de Toronto y del Centro Espacial de la NASA en Houston, respectivamente, que me iniciaron en el Paleomagnetismo. En Portugal los Drs. M. Portugal Ferreira, V. Costa y R. Macedo, del Laboratorio de Geocronología de Coimbra, colaboraron con las determinaciones radiométricas.

Aquí en Tenerife, el Prof. L. Alfonso leyó, criticó y contribuyó a la mejora de este manuscrito.

A todos ellos mi sincero agradecimiento.

INTRODUCCION

La relativamente reciente confirmación de la deriva de los continentes, teoría enunciada por primera vez por Wegener en 1915, y fruto de ella, la teoría de la tectónica de placas, ha supuesto sin lugar a dudas una auténtica revolución en las Ciencias de la Tierra, especialmente en la Geología. Esta revolución es comparable al impacto que causara en su día en la Biología la introducción del concepto de evolución.

Las primeras tentativas de explicación de la génesis de las Islas Canarias se producen al conocerse los enunciados de la tectónica global, relacionando esta génesis con la apertura del Atlántico. La continua separación de los continentes de África y América del Sur, como consecuencia de la continua expansión del suelo del Atlántico a partir de la dorsal, produce una serie de fenómenos que afectan a las Canarias, al ser estas islas parte integrante de la placa litosférica africana.

El análisis de las relaciones existentes entre las áreas volcánicas activas y la tectónica de placas vino a demostrar la aparición de volcanismo activo y acentuada sismicidad en los bordes de placa. Un grupo de autores intenta relacionar las Canarias con un borde constructivo, cuyas manifestaciones volcánicas, las Islas, habrían ido alejándose de la Dorsal Centroatlántica por la continua actividad generadora de suelo oceánico a partir de esta zona central.

Estos modelos presentan la dificultad de que la edad de las Canarias no parece sobrepasar los 30 ó 40 millones de años, mientras que, según determinaciones cronológicas recientes, la edad de la corteza oceánica que rodea el Archipiélago supera los 150 m. a.

Además de la lógica conjugación de la génesis de las Canarias con la tectónica del Atlántico, aparecen nuevas hipótesis que intentan relacionar este proceso con la geología continental africana, especialmente con el plegamiento del Atlas, cuya ocurrencia coincide en el tiempo con la formación de las Islas.

Más adelante aparece un nuevo factor que influirá decisivamente en los modelos posteriores, como son las dataciones radiométricas efectuadas en las Islas por Abdel Monem y otros en 1972 que ponen de manifiesto el crecimiento hacia el Este de las edades máximas del volcanismo subaéreo visible más antiguo de las Islas. Siguiendo pues la dirección de expansión del suelo del Atlántico, estas edades máximas van creciendo de forma progresiva desde los 0.75 m. a. correspondientes al Hierro, hasta los 19 m. a. de Lanzarote. Resulta entonces lógico que se aplicara al origen de las Canarias el mismo modelo que se había aplicado con éxito en las Islas Hawaii. Este modelo, ideado por Tuzo Wilson en 1963, suponía la existencia

de una zona de fusión fija en el manto (punto caliente) que se manifestaría en superficie como un área de volcanismo activo continuo.

El lento (varios cm. por año) pero incesante desplazamiento de una placa litosférica sobre este punto caliente explicaría la progresión de edades de las islas edificadas por este tipo de actividad volcánica. Aunque este modelo es aún válido para explicar la génesis del Archipiélago, presenta una serie de dificultades en su aplicación entre las que destacan la aparente inmovilidad de la placa africana en los últimos 25 m. a., según observaciones recientes realizadas por Burke y Wilson (1972), así como la posible existencia en las Islas de interrupciones importantes de la actividad volcánica. Estos dos hechos, de confirmarse, chocarían con los fundamentos de la teoría expuesta por Tuzo Wilson.

Como hipótesis alternativa y en un intento de salvar estos inconvenientes, Anguita y Hernan postulan la existencia de una fractura en la litosfera en el área de Canarias relacionada con el plegamiento del Atlas cuya actividad se propagaría hacia el área de las Canarias, iniciando a su paso la actividad volcánica. Este sencillo modelo explicaría la progresión de edades hacia el Este, como resultado de la propagación de las tensiones en sentido opuesto. Al mismo tiempo permitiría la existencia de hiatos en la actividad volcánica de las Islas como consecuencia de la repetición del proceso de fracturación.

Un tercer grupo (Araña y otros, en prensa) supone la existencia de bloques con saltos de falla de varios miles de metros, producidos por acortamiento cortical en la zona de tránsito de la corteza oceánica a la continental en la zona del Archipiélago. Esta fracturación en bloques favorecería el ascenso de los materiales volcánicos que darían lugar a las islas.

En otro orden de cosas, el paleomagnetismo ha sido instrumento tan valioso en el aporte de evidencia a favor de la deriva continental y la tectónica de placas que es muy dudoso que su aceptación final se hubiese logrado sin su ayuda. La determinación de las curvas de deriva polar de los bloques continentales, el descubrimiento de las bandas de anomalías magnéticas impresas en los fondos oceánicos, el estudio de las inversiones del campo magnético terrestre (CMT) presentes en los sedimentos de los fondos oceánicos, etc., han sido sin duda hitos fundamentales en la elaboración y demostración de las teorías mencionadas.

El paleomagnetismo no es una ciencia joven, aunque su mayor impulso sea reciente y esté relacionado con el desarrollo de las hipótesis de la expansión de los suelos oceánicos y la tectónica global.

El término paleomagnetismo o «magnetismo fósil» explica que esta ciencia estudia las variaciones y características del CMT registradas en las rocas desde el pasado geológico más remoto. Melloni en 1853 midió por primera vez de forma sistemática la magnetización remanente en rocas volcánicas de Italia y descubrió que ésta se imprime en las rocas por la acción del CMT en el momento del enfriamiento. Siguiendo las ideas de Melloni, Forgheraiter sugirió en 1894 que el análisis de las direcciones de magnetización permanente impresa en las rocas volcánicas daba una indicación de las características del CMT en el momento de su formación, lo que permitía, por observación de rocas de diferentes edades, la reconstrucción de la historia del campo magnético terrestre fósil. Al mismo tiempo descubría la existencia de *inversiones* del campo magnético.

Hoy día, la combinación de determinaciones de la polaridad de la remanencia magnética de rocas y sus edades radiométricas ha permitido el conocimiento preciso de la historia del CMT, especialmente en los últimos 4.5 m. a.

El paleomagnetismo goza hoy de gran importancia en Geología teniendo apli-

cación práctica en campos tan diversos como el estudio de las características del interior de la Tierra, la solución de problemas tectónicos y estructurales y muy especialmente en la datación de rocas. La datación de rocas por medio del paleomagnetismo puede hacerse a tres niveles distintos de precisión. Un primer nivel consiste en el empleo de las *variaciones seculares* del CMT y permite detectar diferencias en edad de miles de años. El segundo nivel emplea las *inversiones* del CMT, detectando diferencias de edad de centenares de miles de años. Por último, el tercer nivel utiliza las *curvas de deriva polar* de los bloques continentales registrando diferencias de edad de millones de años.

Las Islas Canarias tienen una historia volcánica activa de al menos 20 m. a. por lo que presenta condiciones idóneas para la utilización de las inversiones del CMT como criterio cronológico. Sin embargo, en una primera etapa se intentó el empleo de las curvas de deriva polar como método de datación (Watkins et al., 1966; Carracedo y Talavera, 1971), haciéndose pronto evidente la necesidad de dataciones radiométricas y del empleo de las inversiones del CMT para una evaluación precisa de la edad de las Islas.

Son estos criterios aplicados recientemente (Abdel-Monem et al., 1972; Carracedo, 1975) los que han permitido tener un conocimiento bastante preciso no sólo de la edad sino de la historia volcánica y de la estratigrafía geomagnética de las Islas, especialmente Tenerife.

A diferencia de la corteza oceánica donde las bandas de anomalías magnéticas (inversiones del CMT) presentan una distribución bien definida, en las islas Canarias la irregular distribución en el tiempo y espacio de las emisiones volcánicas hace que el empleo de las inversiones del CMT no sea tan sencillo.

De todas formas, es evidente que este método constituye un instrumento muy valioso en estos ambientes geológicos carentes de los criterios geocronológicos habituales: fósiles, discordancias generalizadas, etc.

El empleo de estas inversiones del CMT, en combinación con una selección de dataciones radiométricas para la realización de mapas paleomagnéticos, ha sido aplicado con cierta extensión en Islandia (Dagley et al., 1967; Piper, 1973) y en Tenerife (Carracedo, 1975). Este método consiste en síntesis en realizar en tierra con magnetómetros portátiles un tipo de cartografía similar a la realizada en los fondos oceánicos por medio de las anomalías magnéticas y ha resultado de gran valor en el refinamiento cronológico de los mapas geológicos establecidos.

HISTORIA VOLCANICA DE LA ISLA

ANTECEDENTES GEOLOGICOS Y PALEOMAGNETICOS

Desde las primeras referencias geológicas de Tenerife dadas por Humboldt en 1814 a la actualidad se han elaborado una gran cantidad de investigaciones que hacen del Archipiélago Canario una de las zonas más estudiadas del Globo.

El verdadero conocimiento de la historia volcánica de las Islas Canarias puede decirse que comienza con la elaboración de la cartografía geológica de las islas principales por el Departamento de Petrología y Geoquímica del C. S. I. C. (Fúster et al., 1968) que se continuó con una serie de trabajos más especializados que constituyen una valiosa aportación en el conocimiento de estas islas (Araña, 1971; Brandle, 1973; Ibarrola, 1970; Anguita, 1973; etc.)³.

Todo este conjunto de estudios más o menos especializados ha contribuido a establecer una geología de las islas que en términos generales puede considerarse precisa, salvo en el aspecto cronológico, aspecto en el que este estudio trata de aportar, más que una solución definitiva, una metodología y línea de acción encaminada a la posible solución de los problemas cronológicos del archipiélago y que, de probarse su utilidad, pudiera extender su empleo a otros problemas similares.

Desde el punto de vista más general, las Islas Canarias parecen ser el resultado de un fenómeno volcánico común. Este fenómeno puede estar relacionado con unas condiciones especiales y su génesis está condicionada por la interacción de tres fenómenos diferentes: la orogenia del Atlas, la tectónica Atlántica y la evolución tectónica del borde continental africano. Estos fenómenos se manifiestan por la existencia de unas fracturas regionales en el ámbito de las Canarias que han estado emitiendo con interrupciones más o menos largas durante toda la historia volcánica del archipiélago.

Esta continuidad en las emisiones debe entenderse a escala global dentro del archipiélago, dándose frecuentemente interrupciones más o menos locales.

De forma muy general se podrían considerar cuatro unidades en las islas, que no son sino variaciones en las condiciones de emisión de un fenómeno volcánico común. La primera de estas formaciones por orden cronológico aparece en aquellas islas en que la erosión ha progresado más profundamente, poniendo al descubierto un basamento o complejo basal, probablemente Oligoceno o Mioceno, de rocas volcánicas submarinas, sedimentos asociados a ellas, rocas plutónicas y una densísima red de diques.

³ Recientemente son de destacar tres Tesis Doctorales realizadas en el Departamento de Petrología de la Universidad Complutense de Madrid, sobre las islas de Gran Canaria, La Gomera y El Hierro, por F. Hernán, C. R. Cubas y M. J. Pellicer, respectivamente.

DATOS GEOCRONOLOGICOS RELATIVOS A LAS FORMACIONES MAS ANTIGUAS PUBLICADOS SOBRE
EL ARCHIPIELAGO CANARIO CON ANTERIORIDAD A ESTE TRABAJO

I S L A	Polaridades encontradas en las islas	Núm. de dataciones * totales realizadas	Edad más antigua encontradas en la isla	Formación más antigua datada **	Material
Tenerife (1)	N, R	26	15.58 ± 1.60 (7.18 ± 0.57)	Serie Antigua (Valle Taganana) (Teno)	Basalto
Gran Canaria (2)	N, R	20 (66)	16.12 ± 0.40 (13.9 ± 0.3)	Serie Antigua (Agaete)	Basalto
Lanzarote	N, R	11	19.00 ± 0.68	Pre Serie I (Los Papagayos)	Traquibasalto
Fuerteventura	N, R	11	38.60 ± 3.75	Complejo Basal (Pájara)	Sienita
Gomera	N, R	8	14.60 ± 0.67	Complejo Basal (Vallehermoso)	Sienita
La Palma	N, R	5	1.57 ± 0.09	Basaltos Antiguos (Bco. Las Angustias)	Basalto
Hierro (3)	N (R)	5	3.05 ± 3.00	Basaltos Antiguos (Acantilados Golfo)	Basalto

* Las edades K/Ar pertenecen a Abdel-Monem et al. (1971, 1972) y están compiladas en Watkins (1974).

** Denominaciones utilizadas por Watkins (1974), con base en la estratigrafía de Fúster et al. (1968).

(1) Posiblemente una datación errónea. Todas las demás edades, incluso en la misma formación, son inferiores a 7.18 m. a.

(2) Recientemente se han realizado 46 nuevas dataciones (McDougall y Schmincke, 1977) y la edad más antigua de Gran Canaria ha sido rebajada a 13.9 ± 0.3 m. a.

(3) Al realizar la cartografía paleomagnética de esta isla se han detectado polaridades R, posiblemente Matuyama (Carracedo y Pellicer, en preparación: Estratigrafía volcánica, Paleomagnetismo e Historia volcánica del Hierro).

**CORRESPONDENCIA DE LAS SERIES VOLCANOESTRATIGRAFICAS ESTABLECIDAS (FUSTER ET AL., 1968)
CON LOS DATOS PALEOMAGNETICOS. EDIFICIO TENO.**

SERIES VOLCANOESTRATIGRAFICAS			UNIDADES MAGNETOESTRATIGRAFICAS				
Formación	Serie de Fúster et al.	Serie propuesta	Formación	Polaridad	Epoca	Límites de edad (m. a.)	Dataciones * (m. a.)
Basaltos recientes	Serie III	Serie recientes	Basaltos recientes	N	Brunhes	0-0.7	—
———— discordancia ————			———— discordancia ————				
Intrusiones sálicas			Diferenciados sálicos	R	Gilbert Inferior	4.2-5.1	↓5.35±0.11 (1)
	Serie antigua	Serie I inferior					
Basaltos antiguos			Basaltos fisurales	N R	Pre-Gilbert	5.1	6.10±0.18 6.35±0.26 7.18±0.57

* Dataciones de Abdel-Monem et al., 1972.

- (1) En ocasiones las edades indicadas no encajan dentro de los límites de edad correspondientes a la época de polaridad a que deben pertenecer. En estos casos, interpretamos estas discrepancias como debidas a errores del método de datación (K/Ar). Una flecha hacia abajo o hacia arriba señalarán en lo sucesivo aquellas edades que se consideren en «exceso» o en «defecto», respectivamente.

La segunda formación, apoyada discordantemente sobre el basamento allí donde éste aparece, está constituida por un apilamiento de materiales basálticos, de similares características para todas las islas y cuya emisión a través de fisuras ⁴ ha ocurrido de forma más o menos continua desde el Mioceno hasta el Cuaternario.

Una tercera formación, menos definida, estaría formada por conos y coladas recientes bien conservados, adosados a los grandes edificios y que recubren y fosilizan gran parte de las formaciones anteriores.

En el aspecto litológico debe resaltarse en algunas islas (Gran Canaria y Tenerife) una cuarta formación originada por la emisión de un gran volumen de materiales sílicos que son los diferenciados finales del magma basáltico alcalino que caracteriza a este archipiélago.

En el aspecto cronológico, en el que centramos nuestra atención en este trabajo, la forma de emisión anteriormente indicada ha ocasionado una distribución desordenada en el tiempo y espacio de las diferentes emisiones, originando una carencia de discordancias de carácter general que permita la separación de series bien definidas. El problema se agrava considerablemente por la carencia de niveles fosilíferos que permitan una localización en el tiempo de los diversos materiales, por lo que la cronología en estas islas depende de dataciones radiométricas o paleomagnéticas casi exclusivamente, siendo este problema especialmente acusado en la isla de Tenerife.

A nivel local y en algunas islas se encuentran discordancias intraformacionales, más o menos generalizadas, que permiten la separación de series volcanoestratigráficas (Fúster et al., 1968) aunque la separación de estas series suele apoyarse frecuentemente en caracteres geológicos y litológicos.

Recientemente el aporte de estudios paleomagnéticos y geocronológicos (Abdel-Monem et al., 1971; Carracedo, 1971, 1973, 1974 y este trabajo; Watkins et al., 1966; Rona y Nalwalk, 1970; Watkins, 1974; McDougall y Schmincke, 1977) han contribuido a descifrar la historia volcánica del archipiélago.

TENERIFE

La isla de Tenerife es, como el resto de las islas del Archipiélago Canario, la manifestación actual en superficie de un edificio volcánico que arranca a varios miles de metros de profundidad del fondo oceánico y que se ha ido formando por apilamiento de emisiones sucesivas cuyo origen puede relacionarse con un foco profundo común a todo el archipiélago.

El estado actual de la estructura subaérea del edificio insular es una consecuencia de la interacción antagónica de dos factores: uno constructivo formado por las emisiones y otro destructivo constituido por los agentes de denudación.

Si bien el material original es similar al que ha conformado las demás islas, concurren en Tenerife unas circunstancias diferenciadoras que adquieren su má-

⁴ A partir de observaciones paleomagnéticas en Tenerife (este trabajo) y de determinaciones muy precisas realizadas por McDougall y Schmincke recientemente en la isla de Gran Canaria, parece deducirse claramente que la emisión de estos basaltos fisurales ocurre en un período de tiempo relativamente corto. Así, el enorme apilamiento de coladas existente en Teno (Tenerife), con potencia de alrededor de 1.000 m., se ha extruido en poco más de 1 m. a. En Gran Canaria, una formación similar, la Serie I del NW de la isla, con un volumen de unos 1.000 km.³ se ha extruido en menos de 500.000 años.

xima representación en su historia reciente con la formación de un gran edificio sálico central y la presencia de numerosos tipos litológicos intermedios de la serie de diferenciación basaltos-fonolitas.

En Tenerife no parece aflorar el basamento que se supone característica común en el archipiélago, estando formada la parte más antigua visible de la isla por las formaciones basálticas que aquí parecen extenderse con interrupciones más o menos extensas de las emisiones desde el Mioceno Superior ⁵ al Pleistoceno, conociéndose incluso algunas erupciones históricas, la última de las cuales tuvo lugar el año 1909.

Aproximadamente en el Plioceno Medio y localizadas en el centro de la isla comenzaron a emitirse materiales más alcalinos, en coexistencia con otros de naturaleza basáltica, que dieron lugar al gran Edificio Central, posteriormente destruido (Caldera de Las Cañadas) y reedificado (Teide-Pico Viejo).

En Tenerife se agudizan las deficiencias de criterios cronológicos concluyentes, por lo que la separación de los materiales en series (Fúster et al., 1968) da lugar a problemas de interpretación.

La edad que se ha propuesto para las formaciones más antiguas de Tenerife han variado en el tiempo pudiendo notarse una «modernización» de las edades propuestas. Así Wolff (1931) supone estas formaciones situadas en el Cretácico Medio, Hausen (1956) Eoceno; Fúster et al. (1968) Mioceno Superior-Plioceno, etc.

La carencia de discordancias generalizadas dentro de las formaciones basálticas fisurales es citada por autores anteriores que si bien aprecian una considerable diferencia en ciertos lugares entre una base más antigua (Serie I) y una cobertera más moderna (Serie II) no encuentran fundamento para la separación general de estas series en el ámbito insular.

Más recientemente, Abdel-Monem et al. (1972) encuentran edades de 15.7, 7.18, 6.53, 6.10, 5.35, 4.65, 1.85, 1.63, 1.52 y 0.88 para diferentes materiales de la Serie Basáltica Antigua y en este trabajo se aportan edades que rellenan el vacío 4.65-1.85 m. a., lo que parece evidenciar la continuidad de las emisiones en Tenerife al menos en los últimos 7 m. a.

La presencia de una discordancia bastante generalizada en el Edificio Central de la isla, exclusión hecha en los edificios de Anaga y Teno, observable a través de las galerías excavadas en la prospección de los recursos hidráulicos, dio base a un intento de separación de las Series I y II (Carracedo, 1974; Navarro, 1974; Coello, 1975) que coincidiría a grandes rasgos con este intervalo de tiempo.

Sin embargo no se efectúa la separación clara de ambas subseries en la isla hasta la realización de la cartografía paleomagnética de la Isla (Carracedo, 1975).

DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES UNIDADES VOLCANICAS DE LA ISLA

En este apartado se hace una descripción, por orden decreciente de antigüedad, de las principales unidades definidas en la realización de la estratigrafía magnética de la Isla.

⁵ Como ya veremos en un capítulo posterior, la edad máxima de Tenerife aportada por Abdel-Monem et al. (1972) es de dudosa fiabilidad, por lo que es posible que la edad máxima del volcanismo visible más antiguo de la isla oscile alrededor de los 7 m. a. (Mioceno Superior).

a) *Unidad Basal de Taganana*

Esta unidad aflora en la costa Norte de la península de Anaga, con un contorno semilunar (Arco de Taganana), posiblemente originado por la mayor penetración del mar en la zona central de la formación, fácilmente desmontable por la erosión marina a causa de su naturaleza litológica. Esta formación basal está constituida predominantemente por materiales volcanoclásticos y atravesada por una red filoniana extraordinariamente densa, formada por diques basálticos y fonolíticos y pitones ácidos.

Todo el conjunto buza hacia el Sur en sentido contrario a la cobertera de coladas de la unidad suprayacente.

En la base visible de esta unidad aflora en un perímetro reducido un conjunto de rocas granudas (sienitas, gabros, etc.) que podría formar la parte superior del basamento que se supone común a todas las islas (Fritsch y Reiss, 1868; Bravo, 1956; Hausen, 1956; Gastesi, 1967; etc.) y que aflora en aquellas islas en que la erosión ha progresado más profundamente.

Es difícil demostrar la existencia de una clara situación discordante entre esta unidad y su cobertera aunque apoyarían esta hipótesis varios factores, como son: las diferencias en buzamiento definidas claramente a causa de la inclinación de la red filoniana, en el grado de alteración y edad de los materiales, etc. Esta unidad basal de Taganana la incluimos dentro de la Serie I inferior de la isla.

Desde el punto de vista paleomagnético esta unidad basal carece de interés especial, pues el alto grado de alteración, su naturaleza casi exclusivamente volcanoclástica y la extrema concentración de diques hace muy difícil la determinación de polaridades geomagnéticas con un grado suficiente de fiabilidad.

b) *Formaciones basálticas*

Estratigráficamente sobre la unidad descrita, aparecen extendiéndose a todo el ámbito de la isla, una formación basáltica producto de emisiones de tipo fisural que han estado funcionando aparentemente sin interrupciones generales importantes hasta la actualidad. Esta formación, en sus fases más antiguas, aflora en las esquinas NW y NE (Teno y Anaga), prolongándose en el subsuelo por toda la parte central de la isla, donde está cubierta por las emisiones correspondientes al gran Edificio Central. En su constitución intervienen emisiones predominantemente basálticas, con coladas más o menos delgadas que se apilan y entremezclan, dando lugar a un conjunto subhorizontal que en general buza suavemente hacia el mar desde la zona de cumbres alternando con materiales más escoriáceos y piroclásticos que en algunos lugares predominan ampliamente.

Desde el punto de vista cronológico, esta formación abarca un largo período de actividad que ha llegado desde el Mioceno Superior (7-8 m. a.) hasta la actualidad. Aunque existen interrupciones de las emisiones, que han dado lugar a discordancias, ninguna de ellas tienen un carácter generalizado a toda la isla, por lo que la separación de series volcanoestratigráficas dentro de esta formación es difícil, complicándose aún más el problema por la dispersión en el tiempo y el espacio de los centros de emisión, y la imbricación frecuente de materiales de muy variada litología. Aun admitiendo todos estos obstáculos, se han establecido divisiones cuya validez se ha generalizado a toda la isla (Fúster et al., 1968).

c) Formaciones sálicas

En este grupo se incluyen los episodios sálicos del edificio central, así como los diferenciados sálicos de Anaga y las intrusiones ácidas (diques y pitones) situadas a distintos niveles estratigráficos por toda la isla.

Las divisiones que aquí se han hecho son de carácter paleomagnético y no pueden asimilarse a unidades geológicas, aunque en ocasiones puedan coincidir ambas circunstancias.

Edificios volcánicos

Al intentar correlacionar las diferentes unidades magnetoestratigráficas determinadas, se comprobó la existencia de varios edificios volcánicos en la isla, de funcionamiento a veces independiente, cuyas épocas de efusión y tranquilidad no guardan cronológicamente relación entre sí.

Se hace pues necesario, al hacer la descripción de las diferentes unidades magnetoestratigráficas en esta isla, tratar separadamente cada uno de estos edificios e intentar luego establecer una correlación entre los materiales emitidos en cada edificio en la misma época, aunque hemos podido comprobar que parece más acertado hablar aquí de una coincidencia temporal de las emisiones que de una verdadera correlación, siendo la desconexión, en general, tanto más evidente, cuanto más progresa en el tiempo cada edificio.

Los edificios a los que vamos a hacer mención son Teno, Anaga y Edificio Centro-Dorsal (Edificio Central).

EDIFICIO TENO

Es tal vez donde la formación fisural es más homogénea. Este edificio está formado por un apilamiento de coladas basálticas delgadas que en algunos lugares alcanza potencias de 500-600 metros. El conjunto tiene forma triangular, limitando discordantemente con las formaciones más recientes del Edificio Central por el Este. Dentro de este paquete de coladas que la acción marina ha hecho retroceder, formando acantilados verticales de varios centenares de metros de altura, se pueden diferenciar con facilidad dos unidades magnetoestratigráficas que suponemos consecutivas. La inferior aflora en el fondo de los barrancos más profundos del lado Sur (Masca, Los Carrizales, etc.) y tiene polaridad negativa, no teniendo equivalente en el resto de la isla (Fig. 1).

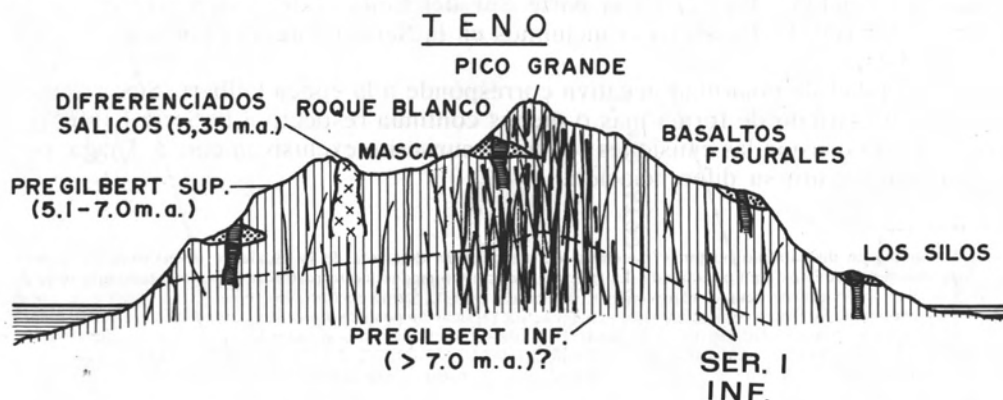


Fig. 1.—Corte esquemático simplificado del Edificio Teno mostrando las unidades definidas. Explicación en el texto.

El resto del Edificio Teno está formado por una unidad, aparentemente de polaridad única (N), cuya edad isotópica (6.0-7.0 m. a., Abdel-Monem et al., 1972) concuerda con la época normal inmediatamente pre-Gilbert⁶. Es muy probable que la unidad inferior, de polaridad negativa tenga pues una edad superior a 7.0 m. a., aunque los datos actuales, y la falta de definición de la escala de inversiones geomagnéticas en este período de tiempo, no permita por ahora una mayor precisión.

El conjunto está intruido por una densa red de diques, de edad indeterminada, algunos de los cuales tienen polaridad negativa, aunque si han llegado a formar coladas éstas o han sido erosionadas, o no han podido ser localizadas. Los diques y pitones ácidos parecen tener polaridad negativa, al menos los que han sido analizados, estando tal polaridad de acuerdo con la edad determinada para uno de ellos (5.35 m. a., Abdel-Monem et al., 1972) que, habida cuenta de los límites de error, lo haría corresponder con la época inversa Gilbert.

En este edificio, la actividad, que debió ser paroxística a juzgar por el enorme volumen de material extruido en un tiempo relativamente corto, parece haberse detenido hace largo tiempo, probablemente coincidiendo con el emplazamiento de los diferenciados sálicos. La erosión ha tenido pues tiempo de actuar, desmontando gran parte del edificio sobre el que se asientan algunos focos de emisiones recientes (Brunhes, 0.0-0.7 m. a.).

La zona de cumbres, hoy muy dismantelada, parece haber coincidido con un eje estructural como corresponde a emisiones fisurales de este tipo, cuya posición central en el edificio se pone de manifiesto por una elevada concentración de diques.

EDIFICIO ANAGA

En este edificio, las emisiones volcánicas han sido más prolongadas. Sobre la Formación Basal de Taganana, ya descrita, se apoya una unidad de polaridad normal que pasa a una unidad de polaridad inversa que forma prácticamente toda la península de Anaga.

La unidad de polaridad normal, que corresponde al pre-Gilbert superior, es decir equivalente a la parte superior de Teno, aparece en superficie en la parte inferior de la costa Norte de Anaga y en los Barrancos del Norte y Este, y solamente en sondeos (Fig. 2) en la parte Sur del Edificio de Anaga. Junto con la formación basal de Taganana la incluimos en la Serie I Inferior, por ser común a toda la Isla.

La unidad de polaridad negativa corresponde a la época Gilbert. Sus materiales se han extruido de forma más o menos continua respecto a la Serie I Inferior, pero en esta ocasión las emisiones se han circunscrito exclusivamente a Anaga, por lo que parece útil su diferenciación.

⁶ Aunque en un capítulo posterior hacemos una descripción detallada de la escala de inversiones del campo geomagnético, recordamos aquí para ayuda del lector que el campo magnético terrestre ha experimentado una serie de inversiones en intervalos de tiempo relativamente frecuentes. De esta forma encontramos en el pasado geológico que el campo magnético de la Tierra coincidía a veces con el actual (épocas de polaridad positiva o normal) o era exactamente el opuesto (épocas de polaridad negativa o inversa). Por orden creciente de antigüedad estas épocas serían: BRUNHES normal (0-0.6 m. a.), MATUYAMA inversa (0.6-2.4 m. a.), GAUSS normal (2.4-3.3 m. a.) y GILBERT inversa (3.3-5.1 m. a.). Por encima de los 5 m. a. las inversiones carecen de nombre específico.

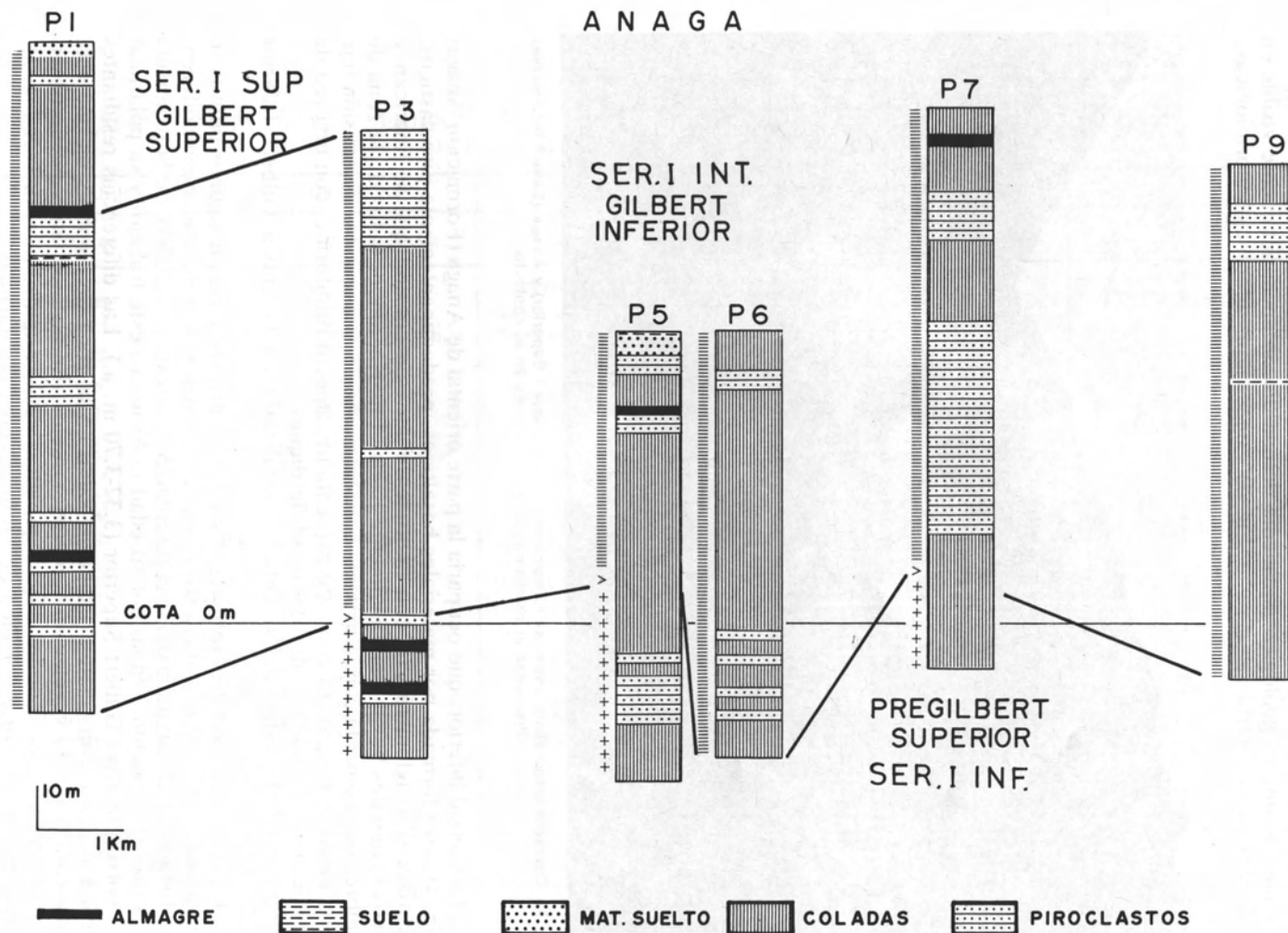


Fig. 2.—Determinación de las polaridades magnéticas y correlación de testigos obtenidos en diferentes sondeos de Anaga.

Esta unidad Gilbert específica de Anaga puede a su vez separarse en dos unidades de interés geológico por medio de una discordancia netamente visible en algunos puntos e inferida en el resto (Fig. 3) y unas claras diferencias morfológicas.



Fig. 3.—Contacto discordante entre las formaciones Tejina (Serie I Superior) y Anaga (Serie I Intermedia).
Observese el truncamiento de los diques en el contacto.

La unidad inferior, que ocuparía la parte oriental de Anaga (Formación Anaga) (Fig. 4), está formada por materiales basálticos, predominantemente piroclásticos, escoriáceos y aglomeráticos con múltiples puntos de emisión que se imbrican y cuyos materiales buzan periclinamente hacia el mar, a ambos lados de la zona de cumbres que coincide con la máxima concentración de estos puntos de emisión (eje estructural de Anaga). El conjunto presenta un aspecto ruñiforme, con una red de drenaje muy encajada y alta densidad de diques.

La edad de esta unidad permite localizarla en la época Gilbert Inferior (4.25-5.10 m. a.).

Contrastando con esta formación y en clara discordancia en algunos puntos se apoya una unidad cuyas características morfolitológicas son marcadamente diferentes. Esta unidad, cuya máxima representación corresponde al NW de la península de Anaga (Formación Tejina) por su edad (3.67 m. a., este trabajo) y su polaridad (R), corresponde al Gilbert Superior (3.32-3.70 m. a.). Las diferencias resultantes pueden seguirse con relativa facilidad, salvo en la zona de cumbres en que está enmascarada por la vegetación y potentes suelos. En algunos sitios puede observarse un truncamiento de los diques que atraviesan la unidad inferior (ver Fig. 3), como en la cara Norte del Pico de Izoque, cerca de Bajamar.

CORRESPONDENCIA DE LAS SERIES VOLCANOESTRATIGRAFICAS ESTABLECIDAS (FUSTER ET AL., 1968)
CON LOS DATOS PALEOMAGNETICOS. EDIFICIO ANAGA

SERIES VOLCANOESTRATIGRAFICAS			UNIDADES MAGNETOESTRATIGRAFICAS				
Formación	Serie de Fúster et al.	Serie propuesta	Formación	Polaridad	Epoca	Límites edad	Dataciones (1) (m. a.)
Fonolitas máficas	Cañadas Inferior?	Serie I Superior (cobertera sálica)	Cobertera sálica de Anaga	N	Gauss Inferior	3.06-3.32 m. a.	↓ 3.59±0.14 (2)
Basaltos antiguos	Serie Antigua	Serie I Superior	Basaltos subhorizontales de Anaga	N	Gauss Inferior	3.06-3.32 m. a.	—
				R	Gilbert Superior	3.32-3.70 m. a.	3.67±0.27 (2)
———— discordancia ————							
Basaltos antiguos	Serie Antigua	Serie I Intermedia	Basaltos escoriáceos de Anaga	R	Gilbert Inferior	4.25-5.10 m. a.	4.65±0.70 (1) ↓ 5.37±0.08 (2)
Basaltos antiguos	Serie Antigua	Serie I Inferior	Basaltos (sustrato común de la Isla)	N	Pre-Gilbert Superior	5.10-7.00 m. a.	—
———— discordancia? ————							
Basaltos antiguos	Serie Antigua	Serie I Inferior	Formación Taganana (predominio de materiales volcanoclásticos)	N	Mioceno? Pre-Gilbert Superior?		15.68± 1.60? (1)

(1) Datación de Abdel-Monem et al., 1972.

(2) Datación de Carracedo, 1975.

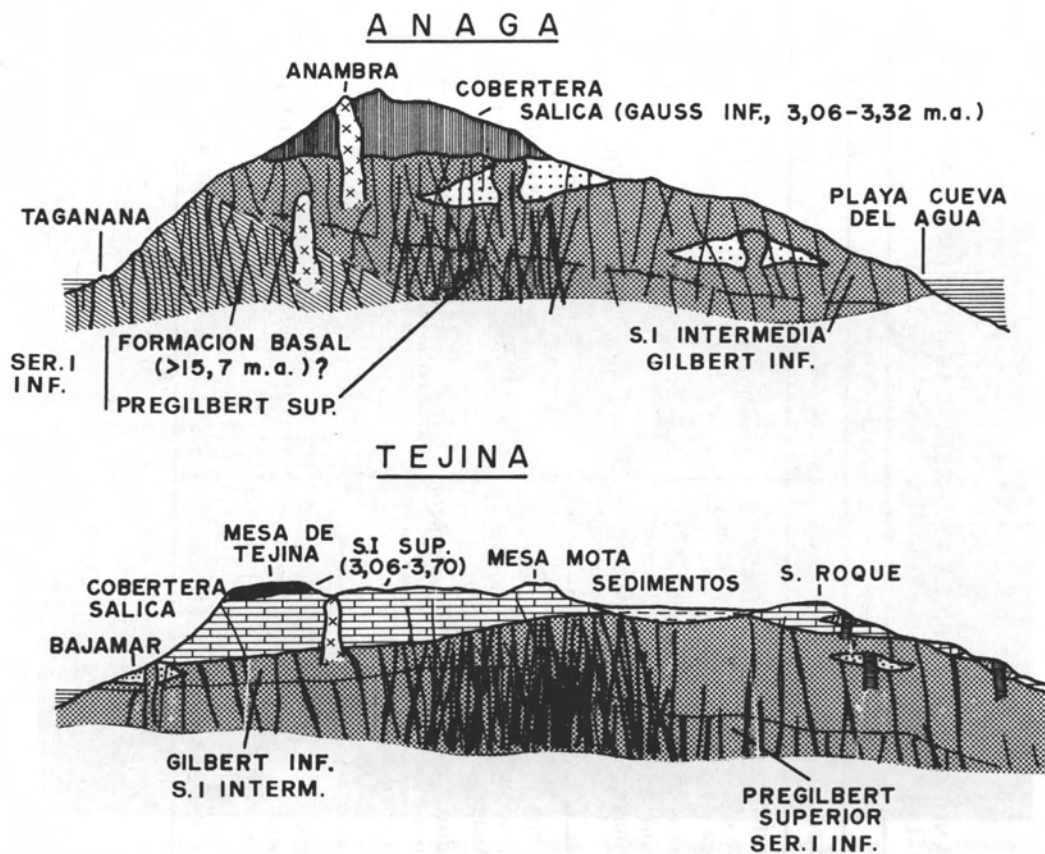


Fig. 4.—Cortes esquemáticos correspondientes al Edificio Anaga. Explicación en el texto.

Es conveniente resaltar, sin embargo, que esta discordancia tiene un carácter local, similar a tantas existentes en las formaciones basálticas de la isla, incluso en el mismo edificio de Anaga. Solamente se le ha concedido validez porque separa dos formaciones de características claramente diferentes. Así a diferencia de los caracteres anteriormente expuestos para la unidad Gilbert Inferior (Formación Anaga, Serie I Intermedia), la formación superior (Formación Tejina, Serie I Superior) está constituida por apilamientos subhorizontales de coladas basálticas de gran recorrido, sin apenas piroclastos ni diques visibles. La formación presenta en conjunto un aspecto masivo, que contrasta fuertemente con la unidad subyacente, acumulando en algunas zonas espesores considerables, de varios centenares de metros.

El flujo de las coladas parece haber favorecido una mayor acumulación de lavas en la vertiente Norte, en la zona de Tejina.

La unidad Gilbert Superior se continúa sin interrupción con coladas pertenecientes a la misma formación horizontal, de polaridad normal, correspondiente a la época Gauss.

La actividad principal del Edificio Anaga debió terminar con el emplazamiento de unos diferenciados más sálicos, que coronan las zonas de cumbres y cuya edad (3.59 m. a., este trabajo) y polaridad (N) la harían corresponder a la parte inferior de la época normal Gauss (3.32-3.70 m. a.) que marcaría el final de la actividad en esta parte de la isla, quedando unas fases basálticas residuales con conos bien conservados que incluimos en la Serie III.

Una síntesis de la estratigrafía volcánica y paleomagnética del Edificio Anaga, ya publicada con anterioridad (Carracedo, 1974), viene indicada en el Cuadro correspondiente.

EDIFICIO CENTRAL

Este edificio parece ser el que presenta mayor complejidad, dado el desarrollo adquirido por las emisiones ácidas, a consecuencia de la diferenciación de los materiales que condiciona la aparición de todos los términos de la asociación de los basaltos alcalinos (basaltos-traquibasaltos-fonolitas-traquitas), con acusado predominio de los términos más diferenciados que han dado lugar a un aparatoso edificio central que constituye la máxima elevación de la isla. Esta diferenciación final parece haberse realizado en forma independiente en la mayoría de los ciclos extrusivos de los diferentes edificios (Teno, Anaga y Centro) de la isla.

El Edificio Central consta de un sustrato que, como ya hemos apuntado, aparenta ser común a toda la isla y que daría a ésta una configuración muy parecida a la actual en las fases antiguas, como parece deducirse de la detección de esta formación (sustrato) en cotas de hasta 1.500 metros en galerías de la zona central.

Este sustrato puede, a nuestro juicio, correlacionarse con la formación superior del Edificio Teno (pre-Gilbert Superior 5.1-7.0 m. a. Serie I Inferior), continuándose bajo la cobertera más moderna de la parte central y aflorando al parecer, solamente en el fondo de los barrancos más profundos (Bco de Badajoz y del Infierno, Cabecera del Valle de La Orotava, etc.) o formando cerros testigos rodeados de materiales modernos (Roque Vento, Jama, etc., zona de Adeje), allí donde la existencia de pitones ácidos ha retardado los efectos de la erosión.

Una vez terminada la extrusión de la formación pre-Gilbert, comienza en el Edificio Central un largo período de quiescencia que podría calcularse como de 5.1 a 3.7 m. a. como mínimo, es decir, coincidiendo con las emisiones que formaron gran parte de la península de Anaga (parte de la Serie I Intermedia de Anaga). Este período de tranquilidad efusiva continúa hasta la actualidad en el Edificio Teno, lo que permite el desmantelamiento de gran parte de este edificio (altura máxima en Teno, 1.003 m.).

Por el contrario, esta interrupción de las emisiones no parece haber sido simultánea en Anaga, que lleva una pauta propia, interrumpiéndose las emisiones hasta la actualidad en este edificio hace solamente 3.6 m. a. La naturaleza más escoriácea y piroclástica del Edificio Anaga en esta fase ha favorecido el desmantelamiento, cuyo estado actual es, pese a las diferencias de edad, muy similar al del Edificio Teno (altura máxima en Anaga, 1.024 m.).

En el Edificio Central, esta quiescencia de al menos 1.5 m. a. de duración se interrumpe con el comienzo de emisiones cada vez más diferenciadas dentro de la serie basaltos-traquibasaltos-fonolitas, que culminaron con la formación del gran Edificio Central tal y como hoy está configurado.

La emisión de materiales basálticos fisurales (lo que hemos denominado formaciones basálticas) continuó independientemente, en coexistencia con las emisiones propias del Edificio Central, llegando hasta la actualidad (Serie III y IV de Fúster et al., 1968) y fosilizando gran parte de las emisiones centrales.

La reanudación de la actividad volcánica en la zona central ha evitado el desmantelamiento de este Edificio, en su fase anterior al período de quiescencia, hasta niveles similares a los de Teno y Anaga, conservando la Serie I Inferior alturas de 1.500 m.

Para el mejor conocimiento de la magnetoestratigrafía e historia volcánica de este Edificio Central, notablemente más complicado que los de Teno y Anaga a causa de las emisiones postmiocenas, ha sido de gran utilidad la investigación de sondeos y galerías (Fig. 5), descritos en otro lugar de este trabajo, así como otros sondeos y galerías estudiados que no han sido citados.

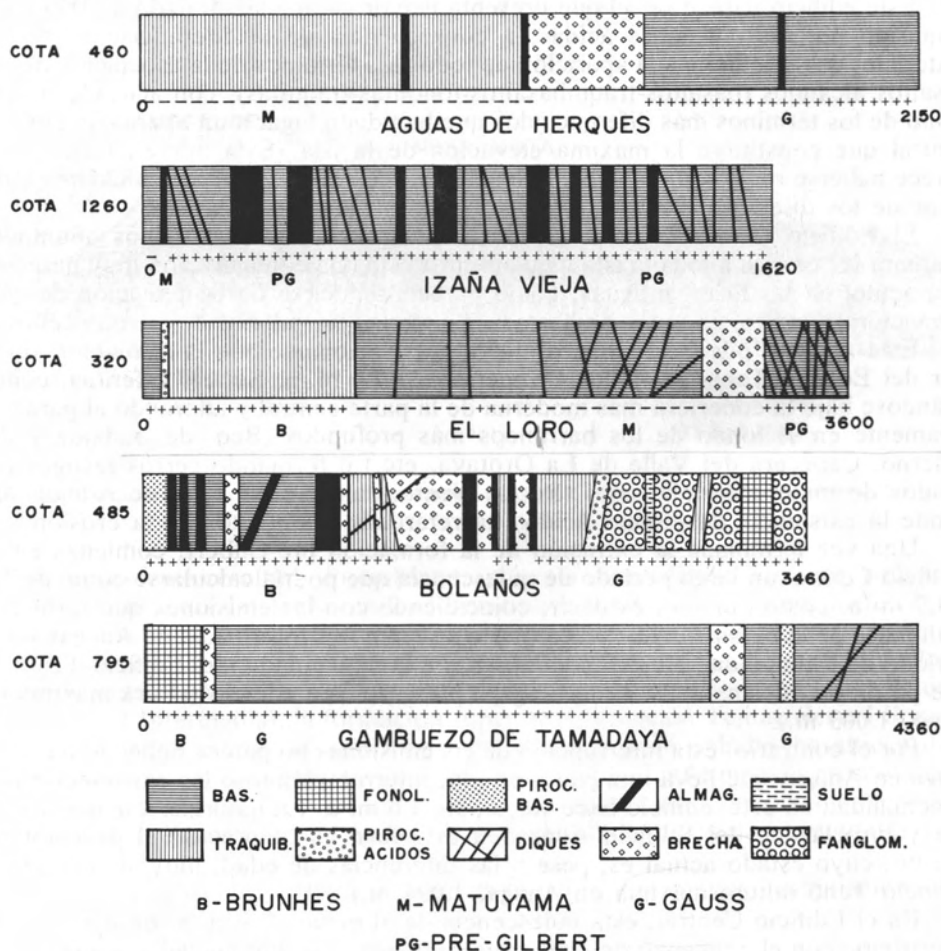


Fig. 5.—Determinación de las polaridades magnéticas y datación por medio de las inversiones geomagnéticas en algunas de las galerías analizadas en la Isla y correspondientes al Edificio Central.

En el recomienzo de la actividad, las emisiones basálticas tabulares debieron fosilizar el relieve anterior, rellenando las depresiones existentes y apoyándose discordantemente sobre los Edificios de Teno y Anaga.

Esta formación presenta unas características muy específicas, tratándose generalmente de coladas basálticas más o menos subhorizontales, de aspecto masivo, con predominio de materiales lávicos poco escoriáceos y menor número de diques, incluso cerca de los ejes estructurales. En las galerías que penetran en esta formación profundamente, puede observarse el paso discordante de esta formación a otra claramente diferente, con gran número de diques y estado de alteración generalmente más avanzado que correspondería al pre-Gilbert Superior o Serie I Inferior (sustrato común).

Los afloramientos de esta formación superior forman un arco periférico al Edificio Central, siendo más manifiesto en la parte occidental (basaltos tabulares de Icod y Garachico, zona de Santiago del Teide, Adeje, Arico, etc.). Sus materiales han continuado emitiéndose a través del mismo sistema de fisuras que han actuado a lo largo de toda la historia volcánica de la isla (formaciones fisurales), carácter que se observa mejor en la parte oriental del Edificio.

Una vez generalizadas las emisiones más sálicas, se produce una clara imbricación de ambas formaciones que dificulta considerablemente el establecimiento de una estratigrafía volcánica precisa para esta zona (ver Cuadro).

Desde el punto de vista cronológico, la actividad efusiva se reanuda en el límite Gilbert-Gauss, como parece deducirse de las edades y polaridades correspondientes a muestras de esta formación (Roque del Conde, 2.45 ± 0.11 ; basaltos del Bco. de Tamadaya, 2.95 ± 0.74 m. a., Carracedo, 1975), continuándose en la época inversa Matuyama, ampliamente representada en esta zona central.

Probablemente en la época normal Gauss debieron comenzar las primeras manifestaciones sálicas de este Edificio, con unas fases explosivas (fanglomerados, Bravo, 1962, brechas pre-Matuyama, Carracedo, 1974), como se deduce de una edad obtenida en una colada fonolítica intercalada en este material brechoide, que proporciona una edad de 2.32 ± 0.04 m. a. (Carracedo, 1975) que, teniendo en cuenta los límites de error, parece corresponder a esta época.

Las emisiones sálicas continúan en el Edificio Central en tres episodios, de los cuales el segundo y el tercero están muy bien localizados en el tiempo y el espacio. Estos tres episodios sálicos coexisten con las emisiones basálticas fisurales, que no se interrumpen. En la secuencia de extrusión de estos tres episodios sálicos, así como en la localización estratigráfica de las brechas, coincidimos, en términos generales, con las deducciones realizadas por Araña (1971).

La realización de la cartografía paleomagnética pone de manifiesto una clara distribución espacio-temporal de las emisiones básicas y sálicas de este segundo período de actividad del Edificio Central (Fig. 6) cuya historia volcánica y paleomagnética podría dividirse en las siguientes fases:

- a) Emisión de basaltos fisurales en todo el perímetro del edificio. Estas emisiones se interrumpen en el Gauss Superior en la zona al W del eje Roques de García-Vilaflor, mientras se continúa a lo largo del Matuyama hacia el E (escarpe de Guimar, pre-Jaramillo, 1.01-1.61 m. a.). Esto condicionó una mayor potencia de la formación en el lado oriental del Edificio.
- b) Comienzan las primeras manifestaciones sálicas (brechas y primer episodio sálico). A este primer episodio sálico corresponden los materiales fonolíticos que aparecen en el subsuelo y en superficie (fondo del Bco. de

CORRESPONDENCIA DE LAS SERIES VOLCANOESTRATIGRAFICAS ESTABLECIDAS (FUSTER ET AL., 1968)
CON LOS DATOS PALEOMAGNETICOS. EDIFICIO CENTRAL

Formación	Serie de Fúster et al (1968)	Formación	Polaridad	Epoca	Limite edad (m. a.)	Dataciones (m. a.)
Formaciones básicas y sálicas rec.	Serie IV	Formaciones basálticas fisurales y sálicas recientes	N	Brunhes	0.0-0.69	—
Formación basáltica, conos bien conservados	Serie III					
Formaciones sálicas no relacionadas Edificio Central	Serie Traquítica y Traquibasáltica					
Formaciones sálicas relacionadas Edificio Central	Serie Cañadas	Tercer episodio sálico (S. Cañadas Superior)	N	Jaramillo	0.89-1.01	0.95 ± 0.06 (1) 1.03 ± 0.05 (1)
						↑ 0.81 ± 0.09 (1) ↑ 0.84 ± 0.05 (1)
		Basaltos tabulares (Serie II)	R	Pre-Jaramillo	1.01-1.61	0.86 ± 0.22 (1) ↑ 0.88 ± 0.05 (1) 1.35 ± 0.02 (1) 1.52 ± 0.15 (1) 1.63 ± 0.11 (1) 1.85 ± 0.37 (1)
		2.º episodios sálico (S. Cañadas Intermedia)	R	Pre-Jaramillo	1.01-1.61	1.22 ± 0.04 (1) 1.27 ± 0.04 (1) 1.50 ± 0.07 (2)
Basaltos Antiguos	Serie Antigua	Basaltos tabulares (Serie II)	N	Gauss	2.41-3.32	2.45 ± 0.11 (2) 2.95 ± 0.74 (2)
		Primer episodio sálico (S. Cañadas Inferior)	N	Gauss	2.41-3.32	↑ 2.32 ± 0.04 (2)
		Basaltos tabulares (Serie II)		Gauss		
		—— discordancia ——				
		Basaltos tabulares (Serie I)	N	Pre-Gilbert Superior	5.1-7.00	

(1) Dataciones de Abdel-Monem et al. (1972)
(2) Dataciones de Carracedo (1975).

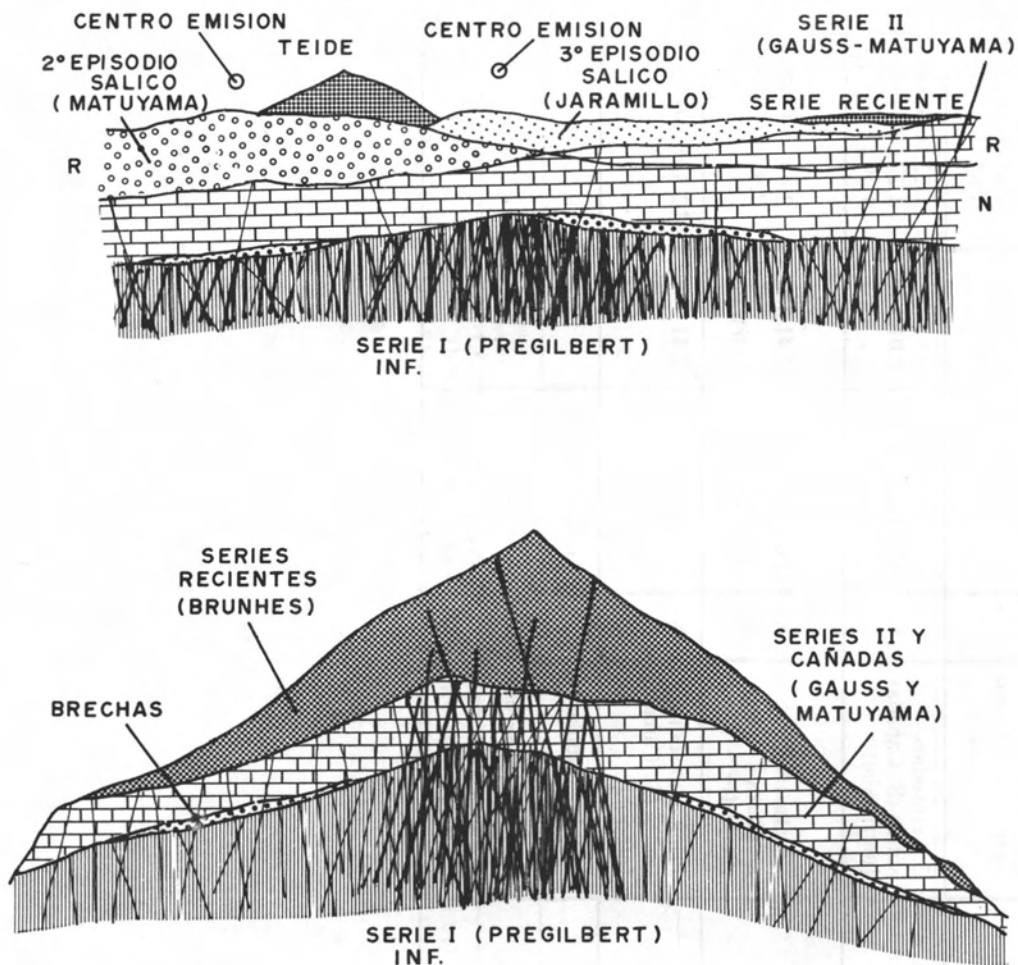


Fig. 6.—Cortes esquemáticos simplificados del Edificio Central. Explicación en el texto.

Tamadaya, etc.), en la época normal Gauss. Las emisiones basálticas fisurales continúan extruyéndose, sin aparente interrupción por el lado E (basaltos del Bco. de Tamadaya, 2.95 ± 0.74 m. a., ídem. de la pared de Guimar, $1.01-1.61$ m. a., etc.), mientras que por el W estas emisiones basálticas se interrumpen en la parte superior de la época Gauss, recubriéndose esta formación con los materiales sálicos del segundo episodio, de polaridad negativa y limitados en su extensión por el E por la línea Roques de García-Vilaflor. La polaridad exclusivamente negativa y las dataciones realizadas en los materiales correspondientes a este segundo episodio sálico (1.50 ± 0.07 m. a., este trabajo; 1.22 ± 0.04 m. a. y 1.27 ± 0.04 m. a., Abdel-Monem et al., 1972), parecen limitar la emisión de estos materiales a la parte superior del Matuyama (pre-Jaramillo,

1.01-1.61 m. a.). Durante este período se emitirían pues materiales basálticos por el E y fonolíticos por el W, siendo frecuentes las imbricaciones, especialmente en la zona media. En esta época se formarían dos grandes edificios, uno basáltico al E (estratovolcán de Arafo) y otro relacionado con el segundo episodio sálico al W, en una posición similar a la subcaldera occidental de Las Cañadas.

- c) Comienza la emisión de un tercer episodio sálico, de localización más restringida, que parece ocurrir predominantemente durante el Jaramillo (0.89 – 1.01 m. a.) y cuyos materiales se ven compelidos a fluir hacia el N (Tigaiga) y S (entre Vilaflor y Arico) por la existencia de los edificios anteriormente citados.

Esto explicaría la inexistencia de estos materiales Jaramillo (tercer episodio) en la mitad occidental del Edificio Central.

El tercer episodio sálico estaría relacionado con el edificio oriental, aproximadamente en la posición actual de la subcaldera E de Las Cañadas.

- d) Posiblemente por la gran cantidad de materiales extruidos en un período de tiempo relativamente corto, se produce un colapso del conjunto formado por ambos edificios sálicos, dando lugar a la caldera de Las Cañadas, subdivida en dos subcalderas (oriental y occidental) por los Roques de García.
- e) Continuación de las emisiones sálicas centrales dando lugar a los estratovolcanes actuales Teide-Pico Viejo, cuyas emisiones coexisten con los materiales basálticos, cuya emisión no se ha interrumpido. Estos productos rellenan las dos subcalderas hasta niveles diferentes, quedando la oriental unos 100 metros más alta que la occidental.

La secuencia superior de este Edificio Central puede también observarse en los acantilados de la costa N, casi todos pertenecientes a la época Brunhes (Series Recientes).

SINTESIS VOLCANOESTRATIGRAFICA DE LA ISLA DE TENERIFE

Los datos cronológicos obtenidos en la realización de la cartografía y estratigrafía paleomagnética de la isla combinados con los datos geológicos resumidos en el mapa y memoria de Tenerife (Fúster et al., 1968) nos permiten ciertas precisiones, difíciles en el tiempo de la realización de la cartografía geológica de la isla por la carencia ya expresada por los autores de criterios cronológicos suficientes.

Creemos que el concepto de serie no se ajusta al fenómeno volcánico en acción en la isla, pero por conservar su utilidad y por no recargar la literatura publicada sobre esta isla con términos nuevos aceptaremos las series establecidas por Fúster et al. (1968) con las siguientes variaciones:

1. La serie basáltica antigua es un término excesivamente ambiguo, en su lugar proponemos la aceptación de las siguientes divisiones dentro de esta serie:
 - a) Serie I Inferior. Sustrato común a toda la isla. Comprendería los materiales de más de 5.1 m. a. emitidos en Teno, Centro y Anaga. Su volumen es superior a los 1.000 km³ y su tiempo de formación relativamente corto, posiblemente alrededor de 1 m. a.

- b) Serie I Intermedia. Restringsida al Edificio Anaga. Comprendería los materiales emitidos únicamente en este Edificio y anteriores a la Serie I Superior. Los límites de edad de esta serie estarían situados entre 4.25 y 5.1 m. a.
 - c) Serie I Superior. Circunscrita a la parte occidental de la Península de Anaga espacialmente y cuya emisor, correspondería al Gilbert Superior y Gauss Inferior (3.70 a 3.06 m. a.).
 - d) Serie II. Comprende todos los materiales basálticos extruidos durante el segundo período de actividad del Edificio Central y restringidos al ámbito de este Edificio, excepto aquellas emisiones cuyos conos están generalmente bien conservados que se incluyen en las series recientes. Coexistiendo con las emisiones de la serie II se emiten tres episodios sálicos en el Edificio Central de los cuales el primero está mal delimitado en el tiempo y espacio, mientras que el segundo correspondería al edificio pre-caldera occidental ($t = 1.01 - 1.61$ m. a.) y el tercero estaría relacionado con el edificio pre-caldera oriental ($t = 1.01 - 0.89$ m. a.).
2. Series Recientes Acidas y Básicas (Series III y IV). Están casi totalmente circunscritas en el tiempo a la época normal actual (Brunhes, $t < 0.69$ m. a.) y de distribución espacial generalizada a todo el ámbito insular.

ESQUEMA EVOLUTIVO GENERAL DE LA ISLA

Aunque con puntos oscuros aún en su elaboración, parece que puede intentarse un esquema evolutivo de la Historia Volcánica de Tenerife gracias al control cronológico proporcionado por las dataciones disponibles y la cartografía y estratigrafía magnéticas establecidas.

Esta Historia Volcánica de la Isla que hemos esquematizado y simplificado en la figura 7 podría establecerse de la siguiente forma:

1. Período de actividad fisural común a toda la Isla. Este período abarcaría desde unos 7 m. a. hasta 5.1 m. a. En este período queda formado el volumen principal de la Isla.
La actividad volcánica parece haberse desplazado hacia el E. quedando finalmente circunscrita a la península de Anaga. A partir de 5 m. a., la erosión desmonta toda la Isla, excepto Anaga, que crece por efecto de las emisiones y que en algún momento puede haber funcionado como una auténtica isla.
2. Finaliza la actividad volcánica en Anaga hace unos 3.5 m. a. En este momento la actividad efusiva queda interrumpida en toda la Isla. Termina así el primer ciclo de actividad volcánica correspondiente a la Serie I.
3. Se reinicia la actividad hace al menos 2.95 m. a., pero en esta ocasión su ámbito de acción se restringe al Edificio Central. Teno y Anaga, sin prácticamente emisiones, hasta la actualidad, continúan bajo la acción de la erosión que los desmantela profundamente.
Al reactivarse el volcanismo se emiten basaltos de tipo fisural que casi inmediatamente comienzan a imbricarse con tres episodios sálicos (límites máximos de edad 3.3-2.4, 1.6-1.0 y 1.0-0.8 m. a., respectivamente). Coincidiendo con esta reactivación parecen haber ocurrido manifestaciones

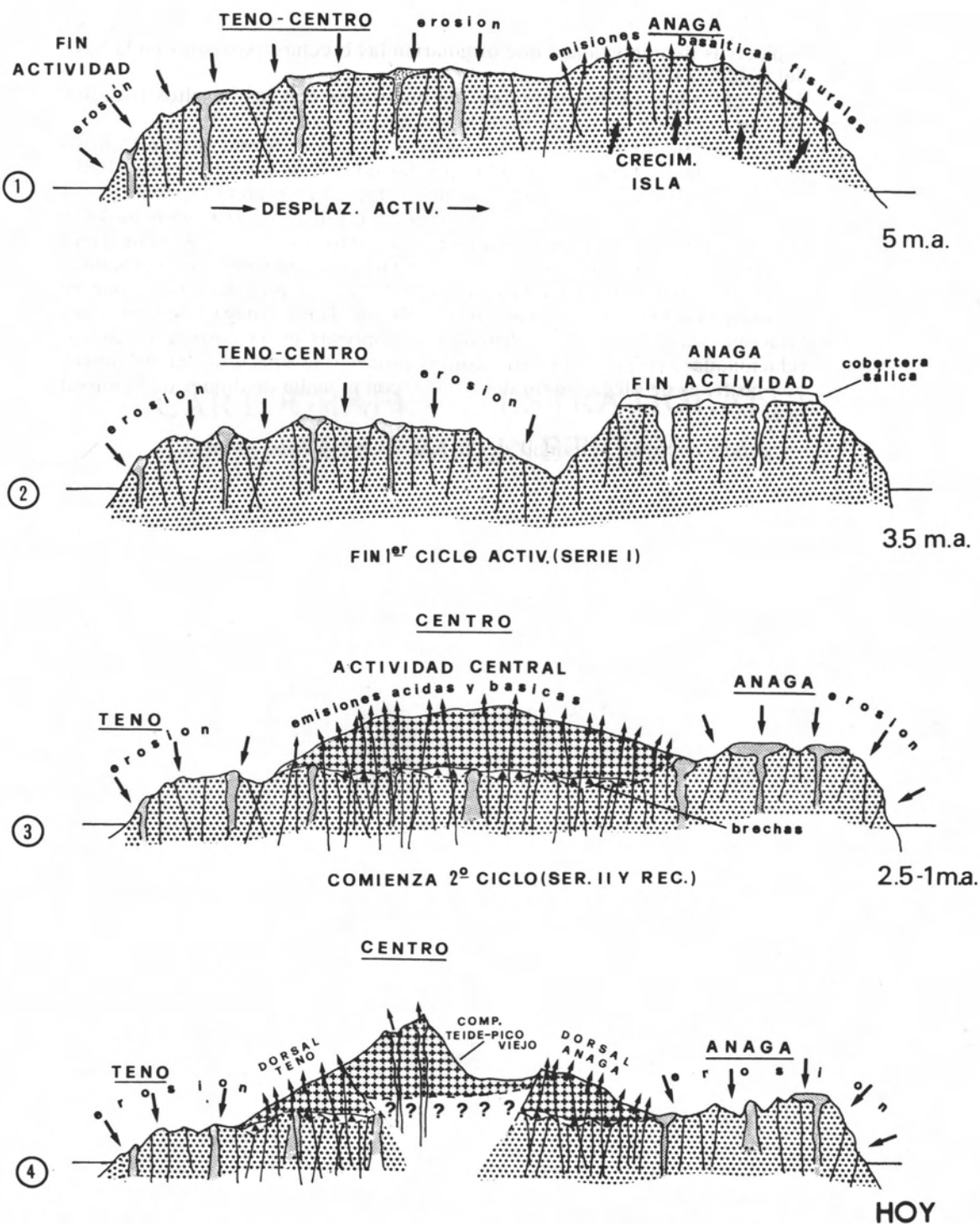


Fig. 7.—Cortes esquemáticos simplificados que ilustran la posible evolución histórica del volcanismo en la isla de Tenerife.

explosivas de importancia que originarían las brechas existentes en la base del Edificio Central.

Estos episodios sálicos imbrican sus materiales con los basaltos fisurales que no cesan de emitirse hasta la actualidad.

4. En este Edificio Central y en fase muy avanzada se forma la gran Caldera de Las Cañadas, que es rellenada por las emisiones posteriores del Edificio. Las emisiones de carácter ácido se localizan preferentemente en el área central, mientras que las emisiones basálticas se extienden hasta la periferia del Edificio y, ocasionalmente, a puntos muy localizados de Teno y Anaga. Estos basaltos se extruyen a partir de los mismos ejes estructurales que han funcionado a lo largo de la historia volcánica de la Isla y que en las fases más recientes marcan las dorsales de Teno, Anaga y Sur, en clara relación con alineaciones estructurales impresas en la corteza oceánica, relacionadas, respectivamente, con el proceso de apertura del Atlántico, con las fases de plegamiento del Atlas y con la malla de diques de la dorsal oceánica.

Este segundo ciclo de actividad de la Isla no ha cesado todavía.

CARTOGRAFIA Y ESTRATIGRAFIA PALEOMAGNETICAS

La reconstrucción de la Historia Volcánica de Tenerife expuesta en el capítulo anterior ha sido posible en gran parte gracias a la realización previa de la cartografía paleomagnética de la Isla.

La cartografía magnética es una técnica de gran utilidad aplicable a terrenos volcánicos, que integra los datos obtenidos en tres tipos de observaciones: *a)* observaciones geológicas convencionales. Incluyen datos petrológicos, estructurales, morfológicos, cronológicos, etc., *b)* observaciones paleomagnéticas. Se trata aquí de adjudicar una polaridad, normal o inversa, a los diferentes afloramientos, incluyendo las relaciones entre unidades contiguas, de igual o distinta polaridad, intentándose la distinción de unidades continuas o separadas en el tiempo, por criterios exclusivamente geológicos, discordancias, diferencias litológicas, morfológicas, distinto grado de alteración, densidad filoniana, avance de la erosión, etc., *c)* datación radiométrica de las unidades aisladas. La integración de los datos obtenidos de las observaciones *a)* y *b)* permitirá correlaciones y agrupaciones de unidades en los casos más favorables. Al menos, según la experiencia de campo adquirida en las Islas Canarias, en número de inversiones presentes en formaciones tabulares con potencias a veces de hasta 600 m. no suele ser grande, siendo frecuente encontrar una, dos o a lo sumo tres períodos de polaridad bien definidos en estas formaciones de mayor potencia, lo que facilita en gran manera la separación y correlación de las unidades paleomagnéticas. Del mismo modo, la investigación de estas mismas formaciones en el subsuelo, por medio de los sondeos y galerías perforados en el estudio de los recursos hídricos de la isla, permite la continuación efectiva de esta separación de unidades magnéticas en todo el ámbito de la zona de estudio. Sobre el mapa de polaridades elaborado pueden seleccionarse un número mínimo de unidades a datar radiométricamente, con lo que obtendremos así un mapa magnetoestratigráfico de la zona, así como una columna magnetoestratigráfica que abarcará a todos los materiales emitidos.

La importancia de esta técnica se refuerza con el hecho de que una datación puntual radiométrica, en conjunción con la lectura de la polaridad del material, proporciona únicamente la edad y polaridad de la colada o dique muestreado, mientras que la datación de una muestra de una unidad magnetoestratigráfica en combinación con la escala de inversiones conocida, proporciona unos límites de edad para toda la unidad determinada. Así pues, con este método, un número relativamente pequeño de dataciones radiométricas permite deducir las relaciones de edad de todos los materiales accesibles de la zona en estudio.

Es obvio por otra parte, que no existe ningún criterio geológico (discordancias, grado alteración, densidad filoniana, compactación, avance de erosión, etc.) que

TENERIFE

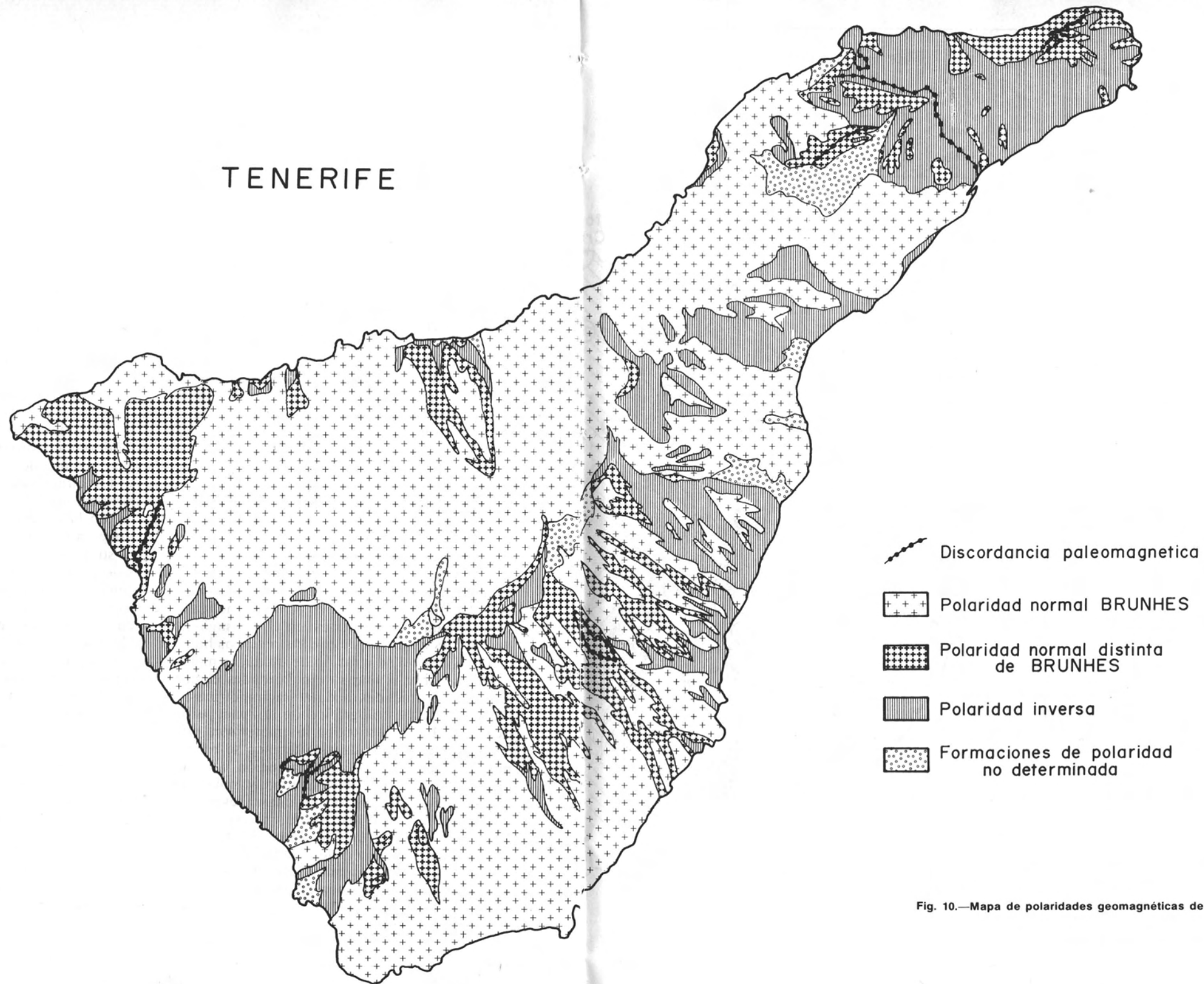


Fig. 10.—Mapa de polaridades geomagnéticas de Tenerife.

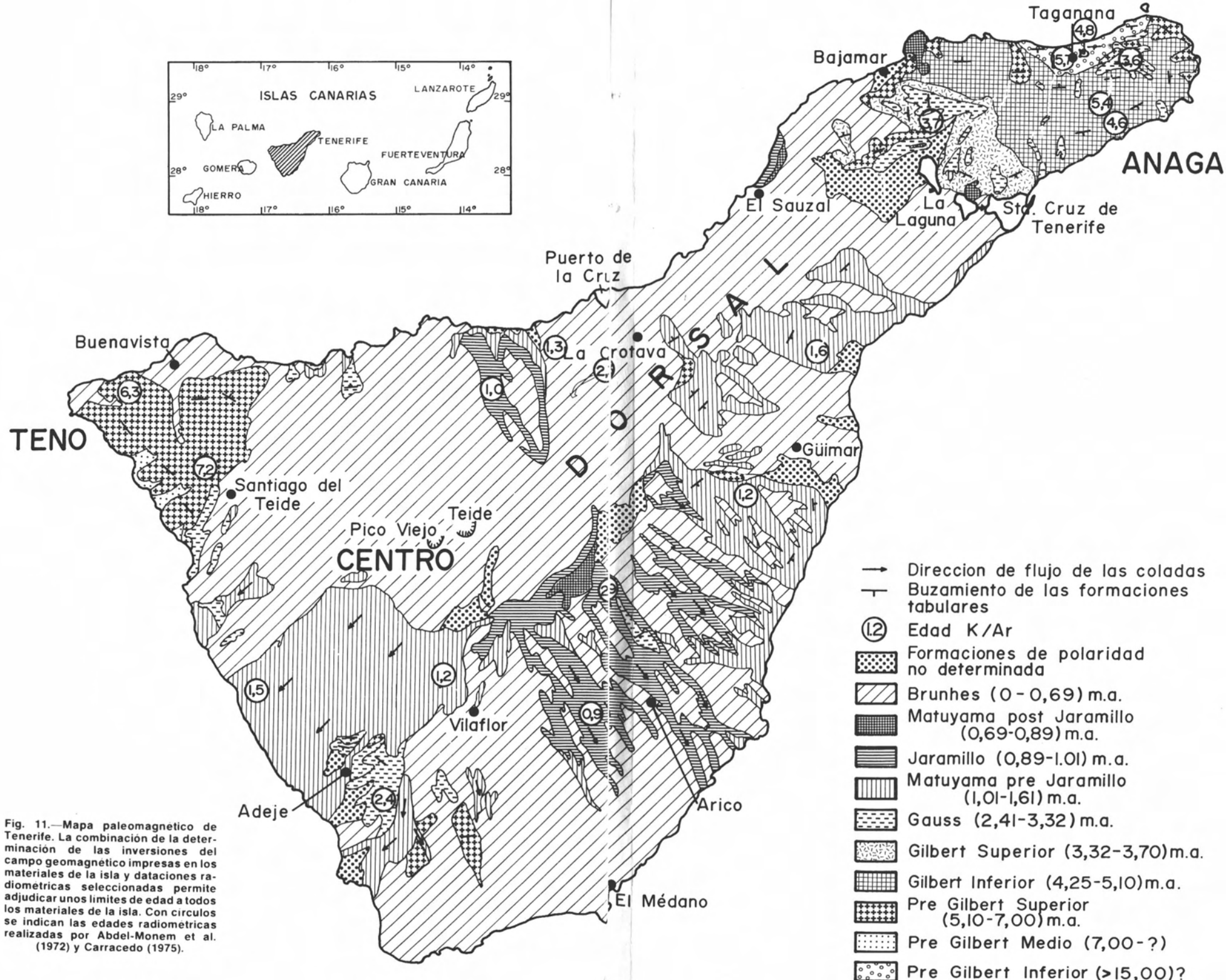
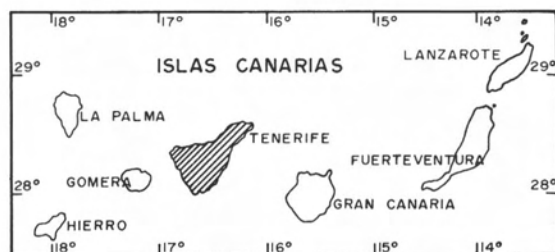


Fig. 11.—Mapa paleomagnético de Tenerife. La combinación de la determinación de las inversiones del campo geomagnético impresas en los materiales de la isla y dataciones radiométricas seleccionadas permite adjudicar unos límites de edad a todos los materiales de la isla. Con círculos se indican las edades radiométricas realizadas por Abdel-Monem et al. (1972) y Carracedo (1975).

tenga por sí mismo validez como carácter cronológico absoluto. Sin embargo, la carencia de otros controles temporales más idóneos ha obligado a usar algunos de estos caracteres como base de separación de diferentes series volcano-estratigráficas, conduciendo a errores, algunas veces considerables, siendo pues evidente que estos criterios cronológicos deben emplearse en conjunto y a ser posible en unión de criterios absolutos (polaridades, dataciones isotópicas, etc.), lo que constituye el fundamento de la cartografía y estratigrafía paleomagnéticas.

Esta técnica ha sido ya empleada, en estudios de detalle, en numerosas ocasiones por diversos investigadores. Birkeland, en 1963, empleó esta técnica como una prueba negativa en la correlación de las paredes de un valle excavado en materiales volcánicos. El análisis de la polaridad de ambas paredes podría eliminar tajantemente la similitud en edad si ambas partes presentaban polaridades diferentes.

En este sentido, las aplicaciones de la determinación de la polaridad geomagnética tiene grandes posibilidades, en estudios de detalle, como test excluyente. Una simple lectura de la polaridad puede excluir la posibilidad de que dos coladas, diques, etc., sean los mismos en diferentes galerías, sondeos, afloramientos, etc. Asimismo la polaridad del material puede, en el caso de tratarse de una polaridad inversa adjudicar al material una edad mayor de 0.69 m.a., dato de gran utilidad en ciertas circunstancias, en la cartografía de series recientes.

La estratigrafía y cartografía magnéticas con empleo de magnetómetros portátiles es utilizada extensivamente por primera vez en Islandia (Einarsson, 1958, 1962; Piper, 1971, 1972) y Tenerife (Carracedo, 1974). Es en este último caso en que parece ser se intenta por primera vez el empleo de esta técnica en la ayuda a la elaboración y mejor precisión de mapas geológicos en terrenos volcánicos.

En las series antiguas de la isla, por la disposición tabular de las coladas y el amplio período de tiempo abarcado (8-1.5 m. a.) la cartografía magnética funciona como único medio efectivo de separación de unidades de valor cronológico que permita, en conjunción con unas pocas dataciones de las unidades aisladas, la reconstrucción de la historia volcánica de estos materiales y posibilite la correlación de los tramos más alejados en el espacio. En síntesis, la cartografía paleomagnética demuestra en el contexto de estas islas ser de mayor utilidad en las series más antiguas, precisamente allí donde los caracteres geocronológicos son más necesarios.

Varias circunstancias frecuentes en la realización de la cartografía magnética de este tipo de terrenos están tipificadas en la figura 12.

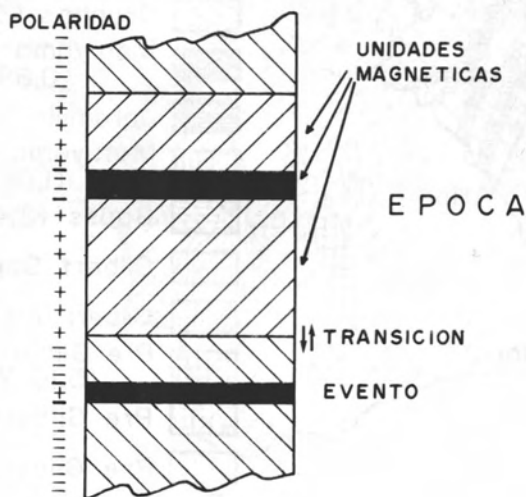
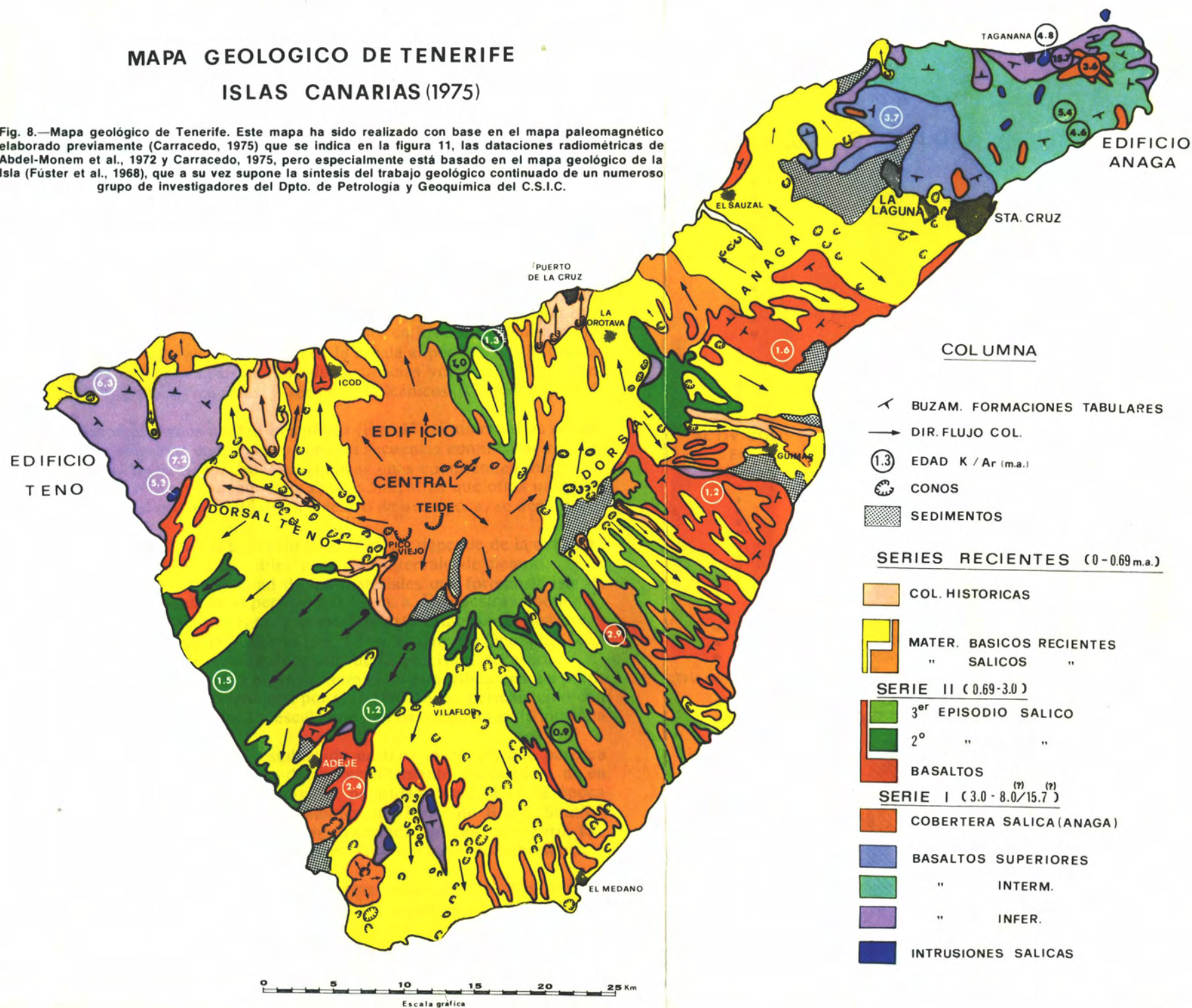


Fig. 12.—Diferentes clases de unidades de la escala geomagnética de inversiones. Unidad magnética: tramo de la escala con polaridad constante. Evento: unidad magnética de corta duración (10⁴-10⁵ años). Epoca: tramo de la escala de larga duración (más de 10⁶ años) que abarca varias unidades magnéticas de distinto signo.

MAPA GEOLOGICO DE TENERIFE ISLAS CANARIAS (1975)

Fig. 8.—Mapa geológico de Tenerife. Este mapa ha sido realizado con base en el mapa paleomagnético elaborado previamente (Carracedo, 1975) que se indica en la figura 11, las dataciones radiométricas de Abdel-Monem et al., 1972 y Carracedo, 1975, pero especialmente está basado en el mapa geológico de la Isla (Fúster et al., 1968), que a su vez supone la síntesis del trabajo geológico continuado de un numeroso grupo de investigadores del Dpto. de Petrología y Geoquímica del C.S.I.C.



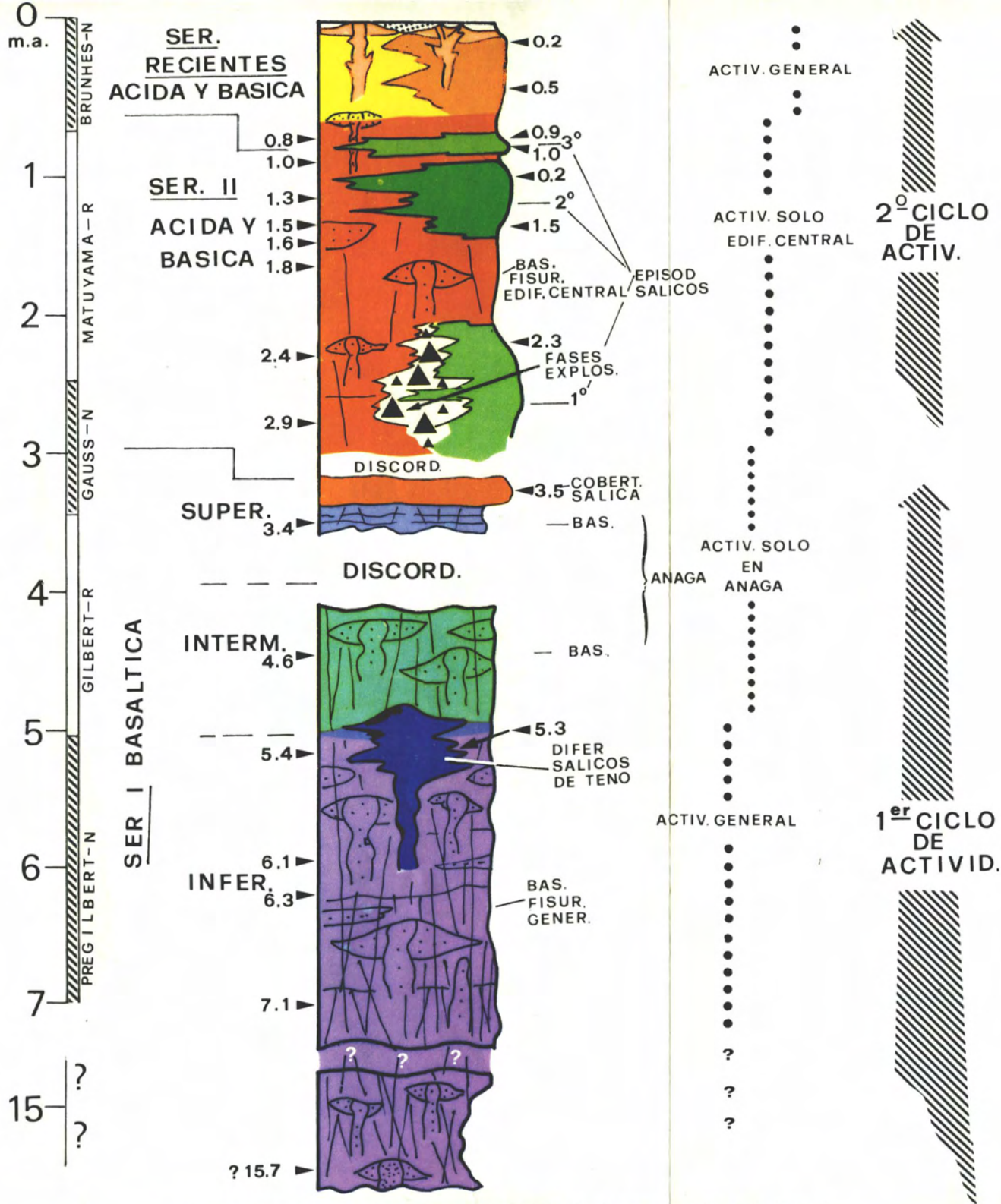


Fig. 9.—Columna volcanoestratigráfica correspondiente al mapa geológico de la figura 8.

ESCALA GEOMAGNETICA DE INVERSIONES DE POLARIDAD

La escala de polaridades elemento fundamental en la cartografía paleomagnética se ha establecido en función del binomio polaridad/edad radiométrica (K/Ar), obtenido en muestras puntuales en toda la Tierra, y en toda la escala estratigráfica y muy preferentemente en el Terciario Superior y Cuaternario.

Han contribuido en gran manera a la extensión de la escala los perfiles magnéticos oceánicos (Heirtzler et al., 1968; Talwani et al., 1971; etc.) especialmente para edades superiores a 5.1 m. a., así como el análisis de la polaridad en testigos de materiales del fondo oceánico (Foster y Opdyke, 1970; Opdyke et al., 1974; Rea y Blakely, 1975; etc.). La definición de la escala en el período $t = 0.0 - 5.1$ m. a. se ha realizado preferentemente a partir de datos polaridad/edad de materiales volcánicos subaéreos. Una recopilación del estado de la escala de inversiones ha sido publicada por Watkins (1972).

Una grave limitación para la extensión de la escala de inversiones es su incremento en imprecisión a causa de los errores inherentes al método de datación empleado (K/Ar), que suele cifrarse en 3-5 % (Cox y Dalrymple, 1967). Según esto es probable que el límite de extensión de la escala esté en los 5 ó 6 m. a. Sin embargo, un factor puede ayudar en la extensión de la escala al período 6.0-10.0 m. a. y es la realización de la magnetoestratigrafía de secuencias volcánicas y la cartografía de unidades magnéticas en islas y terrenos volcánicos (Carracedo, 1974, 1975).

En la escala denominaremos unidad magnética (Fig. 13) al intervalo de polaridad constante, que se relacione en el campo con una secuencia continua de coladas de la misma polaridad. De estas unidades magnéticas unas comprenden intervalos de tiempo del orden de 10^6 a. y se denominan épocas, mientras que otras unidades de más corta duración, del orden de 10^4 - 10^5 a., dentro de una época, se denominan eventos.

La definición de la escala en el intervalo 0.0-5.0 m. a., depende de la densidad de datos polaridad/edad (K/Ar) disponibles para este intervalo de tiempo.

En el presente trabajo, dada la edad de los materiales que forman la isla de Tenerife, se depende de la escala en el período 0.0-7.0 m. a. De nuestra experiencia directa deducimos que la escala tiene, tal y como hoy está establecida, una precisión suficiente hasta el límite con el Mioceno ($t = 5.1$ m. a., Hays y Opdyke, 1967), mientras que el período 5.1-7.0 m. a. carece aún de la precisión necesaria.

La parte postmiocena de la escala quedó determinada estadísticamente a partir de datos obtenidos de materiales volcánicos por Cox (1969) y ha permanecido con pocas variaciones hasta la actualidad. La escala que hemos aceptado es la indicada en la figura 14.

El límite Brunhes-Matuyama está establecido en 0.69 m. a. sin que parezca existir fundamento ni en los numerosos datos recientemente publicados, ni en nuestras observaciones, en favor de eventos de polaridad negativa en la época Brunhes (evento Laschamp, Bonhommet y Babkine, 1967; evento Blake, Smith y Foster, 1969). Esta época está ampliamente representada en Tenerife (Serie IV, gran parte de la Serie III y parte de las Series Traquítica y Traquibasáltica y Cañadas de Fúster et al., 1968).

En la época inversa Matuyama, de amplia representación en Tenerife, se mantiene sin cambios sustanciales en sus límites el evento Jaramillo (Doell y Dalrymple, 1966), $t = 0.89 - 1.01$ m. a. límites máximos (Cox, 1969; Chamalaun y McDougall, 1966; Fleck et al., 1972; etc.), mientras presenta mayores dudas la exis-

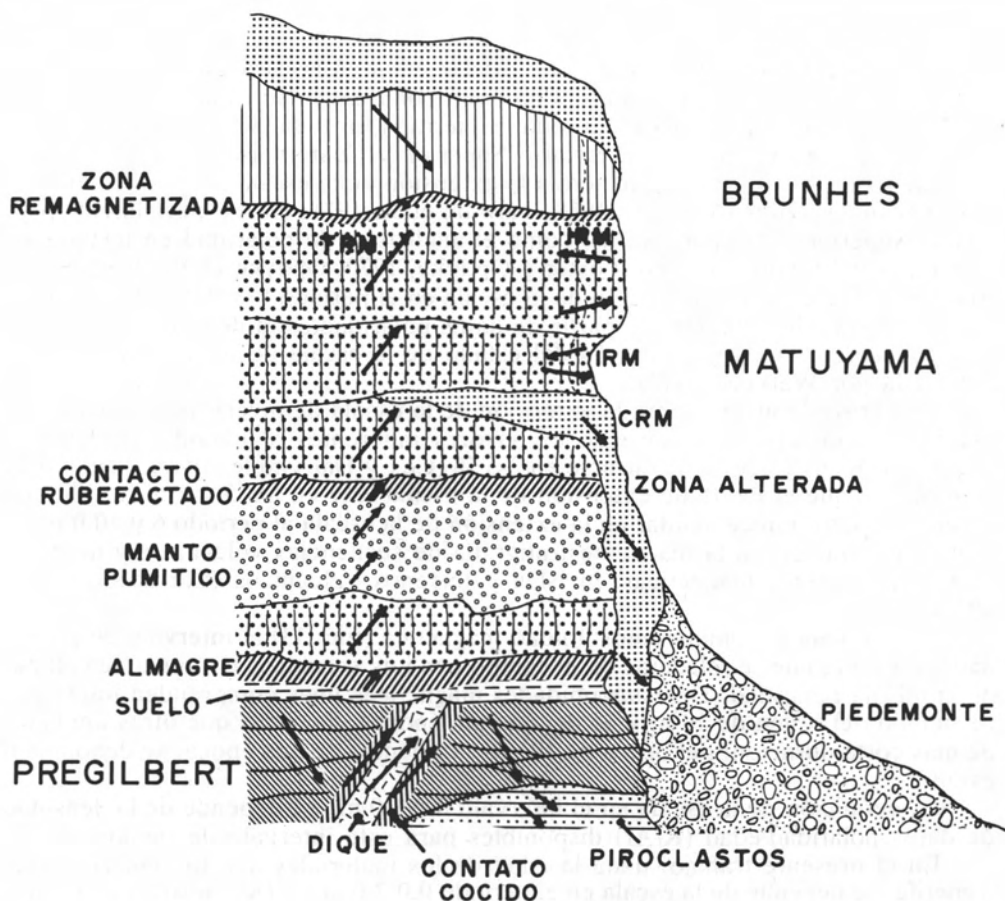


Fig. 13.—Circunstancias típicas encontradas en la realización de la cartografía magnética de las series antiguas de Tenerife. Las flechas indican la dirección de la remanencia magnética impresa en los materiales.

tencia o no del segundo evento normal Gilsa (McDougall y Wensink, 1966). Este evento ha motivado una amplia controversia desde su propuesta para $t = 1.6 - 0.05$ m. a. En efecto, es muy posible que sea sincrónico con el evento Olduvai, de propuesta anterior (Gromme y Hay, 1963), como indican estos mismos autores en base a evidencias posteriores (Gromme y Hay, 1971) y coincidiendo con resultados obtenidos recientemente (Opdyke et al., 1975; Rea y Blakely, 1975) por lo que el término Gilsa debe abandonarse.

En la elaboración de la cartografía paleomagnética de Tenerife, si bien el Jaramillo está ampliamente representado, no hemos encontrado ninguna unidad adjudicable al evento o eventos de la base del Matuyama.

Un material datado en Tenerife en 1.54 ± 0.17 m. a. (Abdel-Monem et al., 1972), adjudicado por estos autores al evento Gilsa, resulta de dudosa localización en la escala de inversiones establecida, por encontrarse estratigráficamente por

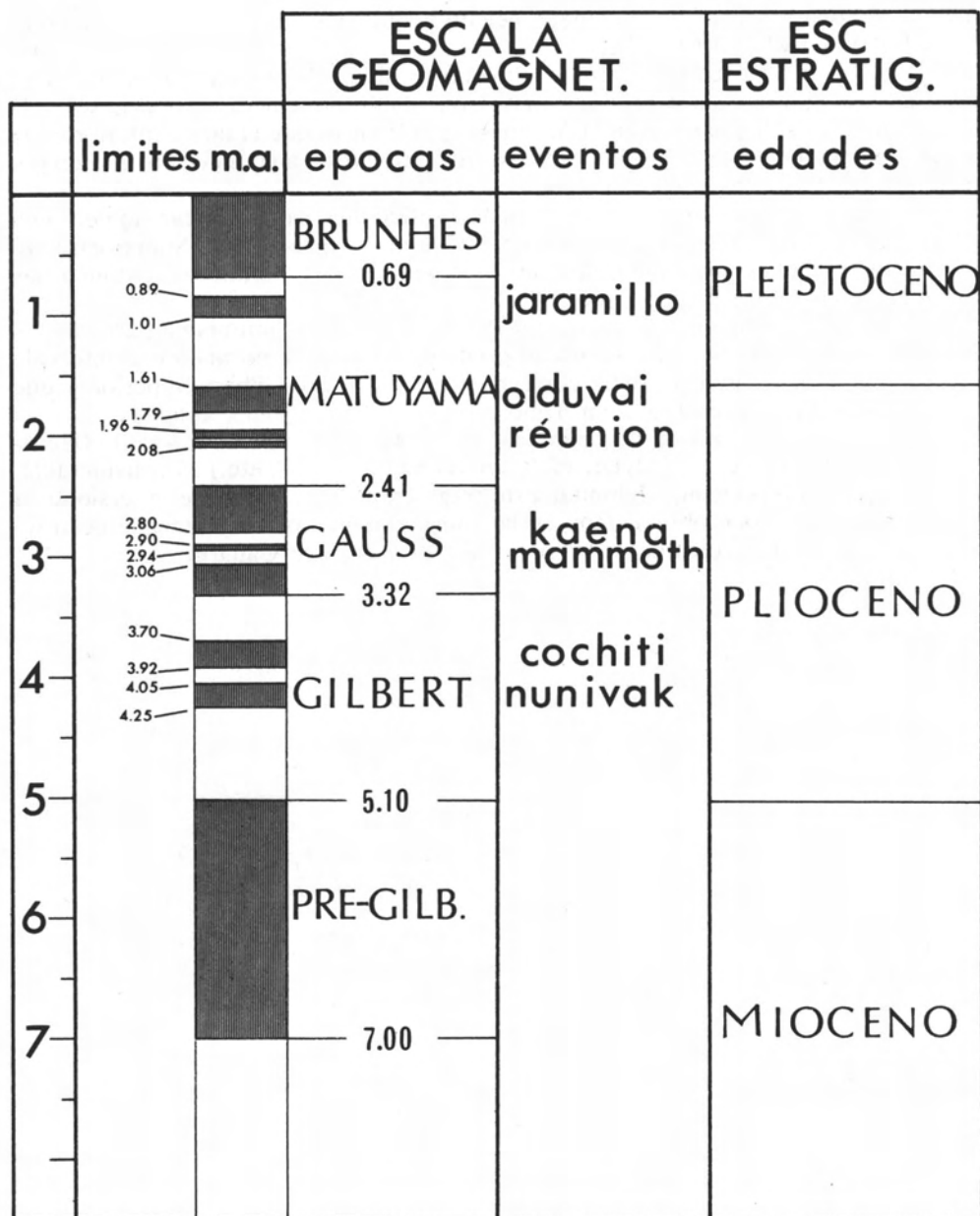


Fig. 14.—Escala de inversiones del campo geomagnético.

encima de una serie exclusivamente negativa que parece corresponder al pre-Jaramillo ($t = 1.01 - 1.61$ m. a.).

El resto de la escala no ofrece mayores problemas, quedando en términos generales muy parecida a la propuesta por Cox (1969). Sin embargo, podría ser, a la vista de los datos disponibles en el Archipiélago Canario, que el límite inferior de la época inversa Gilbert (3.32–5.10 m. a.) se extendiese algo más en el tiempo, posiblemente hasta los 5.5. m. a.

Los datos de que disponemos no son aún suficientes para delinear siquiera una secuencia de inversiones en el período 5.1–7.0 m. a. (pre-Gilbert Superior), aunque la idoneidad de los materiales de las Canarias nos permitirá continuar las investigaciones con este propósito.

En el estado actual de nuestro conocimiento, parece delimitarse a partir de los datos obtenidos una época de polaridad predominantemente normal en el intervalo 5.1–7.0 m. a., que hemos hecho corresponder con el pre-Gilbert Superior y que está ampliamente representada en Tenerife en sus formaciones antiguas.

La discrepancia entre las escalas propuestas para este tipo de intervalo (Heirtzler et al., 1968; Foster y Opdyke, 1970; Opdyke et al., 1974; etc.) es considerable, por lo que nos proponemos delimitar este fragmento de la escala de inversiones a partir de los datos que obtengamos en la futura elaboración de la magnetoestratigrafía de secuencias volcánicas del resto del Archipiélago Canario.

DATAACIONES RADIOMETRICAS

ANÁLISIS DE LAS DATACIONES PUBLICADAS

Uno de los factores que de forma más clara ha contribuido al conocimiento actual de la geología de Tenerife y de Canarias en general ha sido sin duda el de los datos *cronológicos absolutos*: las edades radiométricas y el paleomagnetismo.

Las dataciones radiométricas disponibles sobre Canarias han sido realizadas por dos grupos y en dos fases diferentes.

La primera fase de dataciones fue realizada por un grupo de EE. UU. (del Lamont-Doherty Geological Observatory de la Universidad de Columbia). Este equipo (Abdel-Monem, Watkins y Gass, 1972) llevó a cabo un amplio programa de dataciones que abarcó a todo el Archipiélago Canario. Esta primera fase contaba con el inconveniente de la escasa definición cronológica del conocimiento geológico de las islas en aquella época, por lo que muchas de estas edades son reiterativas y algunas de dudosa ubicación estratigráfica y fiabilidad. Sin embargo, es evidente que estas dataciones supusieron una aportación fundamental en este campo, como lo refleja la bibliografía geológica posterior.

En una segunda fase, se realizó un nuevo programa de dataciones para la isla de Tenerife, por el Departamento de Petrología y Geoquímica del C.S.I.C. (Carracedo, 1975). Este segundo grupo de dataciones fue realizado después de la elaboración de la cartografía paleomagnética de la Isla, por lo que se pudieron seleccionar aquellos materiales que habían quedado sin datar en la fase anterior, quedando así completa la historia volcánica de la isla.

Con los datos geológicos y cronológicos disponibles para el Archipiélago, se elaboraron unas columnas que relacionaban la edad-polaridad-tipo de material de las diferentes islas (Fig. 15) (Carracedo, 1974).

Si analizamos estas columnas nos encontraremos con una serie de vacíos («gaps»). Estos vacíos pudieran corresponder en algunos casos a defectos de muestreo de aquellos materiales que por su posición estratigráfica intermedia o poco determinada fueron evitados en la toma de muestras en beneficio de aquellos de ubicación estratigráfica más clara.

Otros autores, sin embargo, han creído observar en estos «vacíos» de las columnas auténticas interrupciones en la actividad volcánica de las islas, interrupciones que irían haciéndose más modernas hacia el W. Esta progresión de edades y de los «gaps» de actividad podrían estar relacionados con la existencia de una

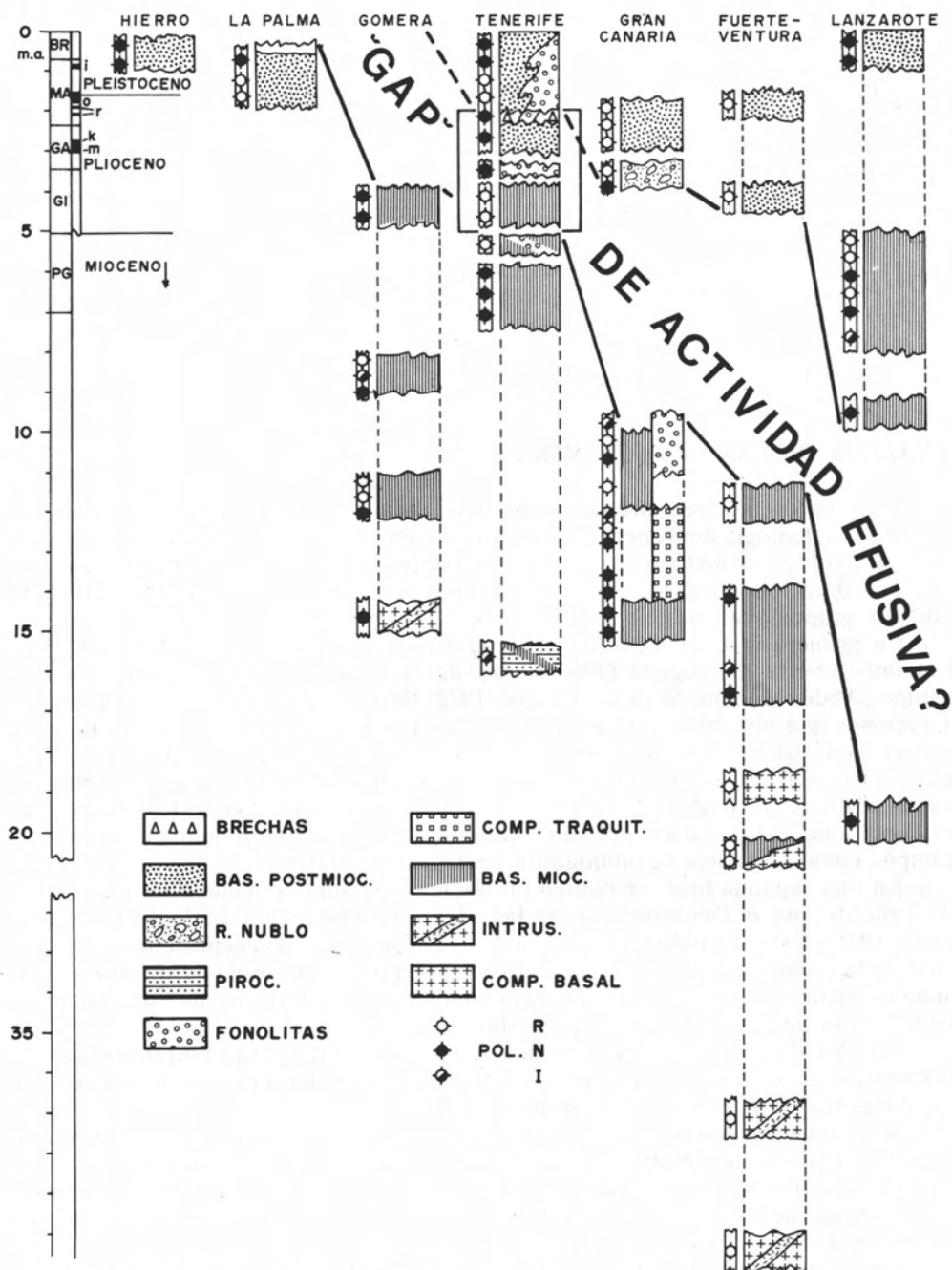


Fig. 15.—Columnas correspondientes a las distintas islas realizadas mediante la combinación de la polaridad magnética de los materiales, su edad radiométrica y su litología o ubicación estratigráfica. El «gap» o vacío de emisiones indicado por algunos autores (Anguita y Hernán, 1975) queda invalidado en Tenerife (recuadro) donde parece corresponder en realidad a un defecto en el muestreo.

«fractura propagante» (Anguita y Hernán, 1975), cuya reactivación periódica en progresión hacia el W explicaría las diferentes fases de actividad volcánica y la distribución de edades que parece existir en el Archipiélago.

La confirmación de la realidad de estos vacíos de emisiones supondría a su vez un obstáculo inexplicable para la aplicación de una génesis por punto caliente para las Canarias.

Independientemente de que uno u otro modelo sea más o menos válido en este sentido, parece evidente a nuestro juicio que los datos cronológicos existentes son insuficientes y que la realización de estos modelos teóricos debería contar con una previa revisión y complementación de estos datos. Este hecho ha quedado evidenciado en Zenerife en que el «vacío» correspondiente ha quedado completado una vez que realizada la cartografía paleomagnética pudieron muestrearse *todas las fases de actividad volcánica de la Isla* (recuadrado en la Fig. 15).

Esto no significa por otra parte que tales vacíos de emisiones no tengan una realidad concreta en otras islas. Por el contrario, parece que los datos geológicos conocidos apuntan hacia la existencia de verdaderas interrupciones importantes en la actividad volcánica que han condicionado la existencia de discordancias erosivas como la que parece ocurrir entre los Basaltos I y II en Fuerteventura o entre el Complejo Traquisienítico y las emisiones tipo Roque Nublo en Gran Canaria.

El método seguido en Tenerife con la realización de la cartografía paleomagnética como fase previa a la selección de los materiales a datar, podría suponer un importante medio de separar los vacíos correspondientes a defectos de muestreo de aquellos que corresponden a verdaderas interrupciones de las emisiones en las diferentes islas. Refuerzan, asimismo, esta necesidad la aparentemente menor fiabilidad de las edades máximas del volcanismo subaéreo aportadas por Abdel-Monem et al., ya que la edad máxima correspondiente a la isla de Gran Canaria, que para estos autores es de 16.1 m. a., ha sido recientemente revisada por un trabajo más detallado y preciso (MacDougall y Schmincke, 1977) obteniéndose una nueva edad de 13.9 m. a. Con este nuevo dato quedaría modificado el esquema de edades máximas del volcanismo subaéreo decreciendo hacia el W al quedar Tenerife como más «antigua» que Gran Canaria.

Sin embargo la edad máxima correspondiente a Tenerife, obtenida en la Serie I de Anaga, es a su vez de escasa fiabilidad, toda vez que parece que se ha obtenido a partir de un material correspondiente a un dique y que su posición estratigráfica parece imprecisa. Es de notar que salvo esta edad de 15.7 m. a. el resto de las edades obtenidas para Tenerife no sobrepasan los 7.2 m. a., lo que parece estar en mejor acuerdo con nuestras observaciones.

En conclusión, es evidente que aunque han supuesto un avance muy importante en el conocimiento geológico del Archipiélago, los datos cronológicos hoy disponibles distan aún mucho de ser lo suficientemente precisos y extendidos a todas las fases de actividad volcánica de las diferentes islas (excepto tal vez Tenerife y Gran Canaria), como para permitir la aplicación de modelos teóricos fiables de la génesis del Archipiélago y para una reconstrucción precisa de la historia volcánica de las islas. El refinamiento deseable de estos datos debería hacerse después de la realización de la cartografía paleomagnética de las islas, siguiendo la pauta empleada con buenos resultados en esta isla.

De esta forma podría dilucidarse la historia volcánica completa de cada isla y podrían delimitarse aquellos vacíos de las columnas magnetoestratigráficas correspondientes a defectos de muestreo, evidenciando las auténticas interrupciones de la actividad volcánica en las islas.

DATAACIONES ADICIONALES

La datación absoluta de materiales por el método K/Ar es un proceso relativamente difícil que obliga a la selección de un número mínimo de muestras. En este sentido, el programa de dataciones realizado para Tenerife se proyectó como complementación de las edades ya existentes en un intento de completar los posibles vacíos dejados en los programas de datación anteriores, ya que la cartografía paleomagnética realizada permitía tal muestreo selectivo.

De las muestras seleccionadas se obtuvieron láminas delgadas haciéndose una selección de las muestras aptas para datación por observación con luz transmitida convencional.

Las muestras a datar se trituraron a 40 mallas separándose dos partes. Una de estas fracciones se trituró a su vez a 200 mallas para el análisis del potasio, que se determinó por fotometría de emisión. La segunda fracción se empleó para la determinación del Ar, que se efectuó en el Laboratorio de Geocronología de la Universidad de Coimbra por el método de dilución isotópica usando equipos y técnicas similares a las descritas por Dalrymple y Lamphere (1969). En el proceso se emplearon dos líneas de extracción, una de vidrio y otra metálica ya descritas con detalle (Costa et al., 1973), empleándose el sistema de doble «spike». Los resultados obtenidos están indicados en la figura 16 y en el cuadro adjunto.

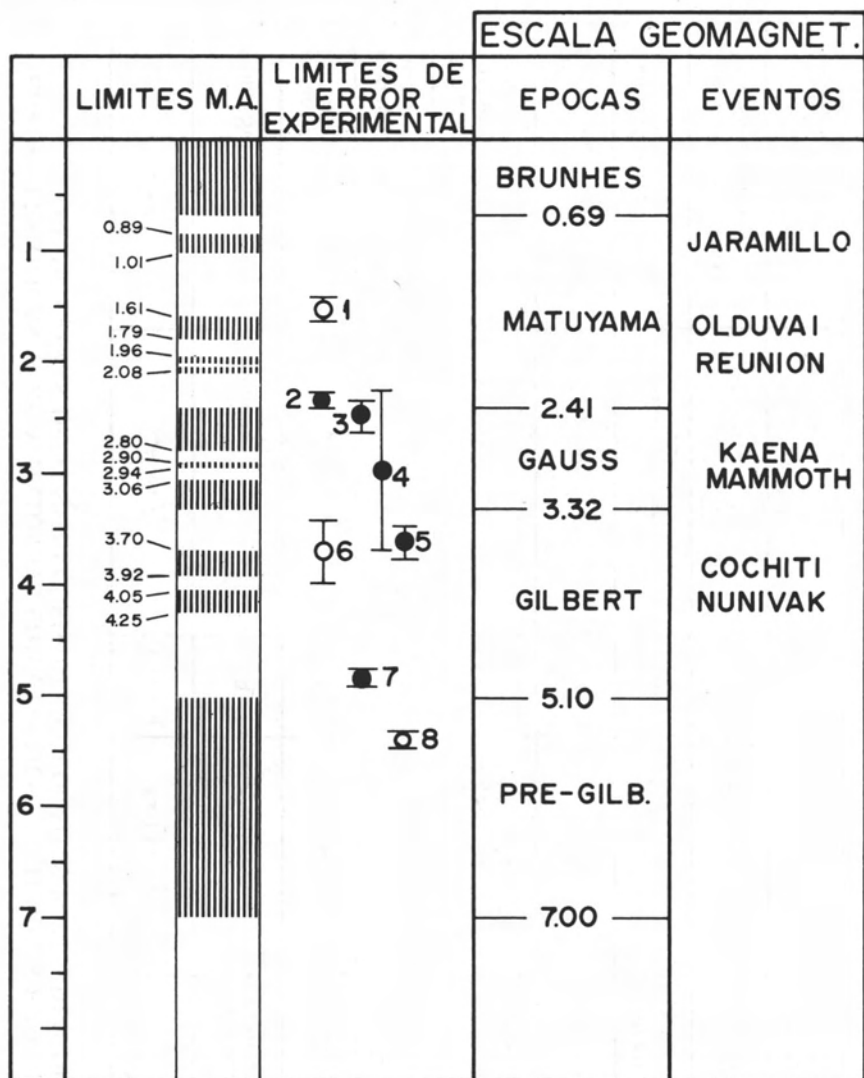


Fig. 16.—Dataciones radiométricas correspondientes a materiales de Tenerife, realizadas después de la elaboración de la cartografía paleomagnética de la isla (Carracedo, 1975) y que completan las realizadas con anterioridad (Abdel-Monem et al., 1972).

EDADES ISOTOPICAS (K/Ar) Y DATOS PALEOMAGNETICOS OBTENIDOS EN ESTE TRABAJO, A PARTIR
DE MUESTRAS DE TENERIFE EDADES COLOCADAS POR ORDEN DECRECIENTE

Localidad	Material	Polaridad	Edad K/Ar m. a.	Situación prevista en la escala magnética de inversiones	Número muestra
Guía (Sur)	Fonolita	R	1.50 ± 0.07	Matuyama pre-Jaramillo (1.01-1.61 m. a.)	1
Bolaños (galería) La Orotava	Fonolita intercalada en Fanglomerado	N	2.32 ± 0.04	Gauss (2.41-3.32 m. a.)	2
Roque del Conde Adeje	Basalto	N	2.45 ± 0.11	Gauss (2.41-3.32 m. a.)	3
Barranco Tamadaya Arico	Basalto	N	2.22 ± 0.06 3.69 ± 0.07 2.95 ± 0.74 (AV)	Gauss (2.41-3.32 m. a.) Gauss (2.41-3.32 m. a.)	4
Anaga Pico Limante	Fonolita	N	3.59 ± 0.14	Gauss (2.41-3.32 m. a.)	5
Tejina (Cota media de la Mesa)	Basalto	R	3.67 ± 0.27	Gilbert Superior (3.32-3.70 m. a.)	6
Roque de las Animas, Taganana (Anaga)	Fonolita	N	4.83 ± 0.06	(5.1-7.0 m. a.)	7
San Andrés Anaga (Sur)	Basalto	R	5.37 ± 0.08	Gilbert Inferior (4.25-5.10 m.a.)	8

**CURVAS DE DERIVA POLAR
Y ESTABILIDAD DEL BLOQUE INSULAR**

El empleo de la PVG ¹ como método de datación relativa respecto a bloques continentales estables (Eurasia, Africa, etc.) ha sido de gran utilidad en terrenos carentes de otros medios de datación más resolutivos (dataciones isotópicas, niveles fosilíferos, etc.) como ocurre en la Isla de Tenerife, donde ha sido ampliamente utilizado (Watkins et al., 1966; Carracedo, 1971) bien como método aislado, bien en combinación con dataciones radiométricas (Abdel-Monem et al., 1972; Watkins, 1974).

En estudios anteriores (Watkins et al., 1966); y por este procedimiento se propone una edad inferior al Eoceno para las Islas Canarias, considerándose para Tenerife una edad intermedia entre El Hierro, la más moderna, y Lanzarote, la más antigua. Al mismo tiempo se descarta cualquier desplazamiento de las Canarias con relación al bloque euro-asiático y se apunta un aparente incremento en edad en el archipiélago en sentido W-E, posiblemente en consonancia con la hipótesis de la expansión del suelo oceánico a partir de la dorsal atlántica (Hess, 1962).

Un problema de interés es la posible presencia de un componente magnético postdeposicional, del tipo químico (CRM) ², que habría modificado de forma difícilmente detectable y eliminable la remanencia magnética original. La concurrencia de ciertos procesos que habrían modificado la relación K/Ar original haría aún más difícil la detección de estos componentes secundarios. El resultado final, de haberse producido estos fenómenos, habría sido una tendencia a la uniformidad de las polaridades para los grandes apilamientos de coladas de las formaciones basálticas fisurales, una desviación de los PVG correspondientes de sus posiciones correctas y, por último, una modernización de las edades radiométricas obtenibles a partir de sus materiales. La existencia de tales fenómenos supondría la invalidación de los datos obtenidos de polaridades, edades radiométricas, etc., en las formaciones antiguas.

¹ Como consecuencia de los desplazamientos de los bloques continentales a lo largo de la historia de la Tierra, las rocas de un mismo continente dan, al aumentar su antigüedad, polos virtuales geomagnéticos (PVG) cada vez más separados de la posición actual. Reconstruyendo estas posiciones de los polos paleomagnéticos se obtienen las *curvas de deriva polar* de cada continente que permiten la datación de materiales de edad desconocida de esos bloques continentales.

² Los procesos de meteorización y alteración de los materiales volcánicos pueden dar lugar a cambios químicos y recristalizaciones que modifican la remanencia magnética adquirida en el momento de la formación de la roca. La nueva remanencia magnética adquirida en estos procesos químicos se conoce con el nombre de Remanencia Magnética Química (Chemical Remanent Magnetization o CRM).

En la práctica, sin embargo, esta posibilidad puede descartarse con seguridad a causa de las siguientes consideraciones:

- a) La presencia en estas formaciones de materiales de muy diversas composición y condiciones de formación, con distinta resistencia a la alteración y adquisición de componentes secundarios del tipo CRM, lo que habría supuesto una acción selectiva, difícil de aceptar, sobre los diferentes materiales para la obtención de una uniformidad final. Dentro de estos materiales destacan los almagres, cuya concordancia en polaridad con los materiales lávicos correspondientes descarta la presencia de componentes secundarios de alteración, dado su alto estado de oxidación y su extraordinaria estabilidad de magnetización.
- b) Si bien existen procesos que puedan ocasionar pérdidas por difusión de argón radiogénico en materiales volcánicos (alteración, recalentamientos producidos por coladas o intrusiones posteriores, presencia de temperaturas moderadas durante largos períodos de tiempo, etc.), aceptar tal explicación para las formaciones tabulares de Tenerife sería muy difícil dado el acuerdo general existente entre las edades obtenidas y la cartografía paleomagnética establecida. La realización de esta cartografía ha supuesto la integración de una gran cantidad de observaciones de campo (geológicas, estratigráficas, etc.), de polaridades geomagnéticas, edades radiométricas, etcétera, en materiales de muy diversa composición y situación espacial y estratigráfica, que han confirmado en general, la presencia en la mayoría de los materiales de una NRM original y que, en conjunto, configuran una estratigrafía magnética coherente, de ningún modo compatible con la posibilidad antes mencionada. Las pruebas magnetoestratigráficas son tal vez las más adecuadas para diferenciar la importancia relativa de los componentes primarios o postdeposicionales en el registro magnético fósil de una zona volcánica.

Un aspecto interesante es también la evaluación de las posibilidades de aplicación de los PVG en la diferenciación de edades de las distintas formaciones que integran la isla. Teniendo en cuenta la posición de la localidad de las muestras en relación con la curva de deriva polar continental, y admitiendo como detectables diferencias en dirección de al menos 5° , así como una deriva uniforme de 0.45° m. a. (McElhinny y Wellman, 1969), probablemente superior a los valores reales para esta zona, solamente podrían distinguirse diferencias en edad de al menos 10 m. a., lo que imposibilitaría la utilización de este método en Tenerife, en que la casi totalidad de los materiales emergidos quedarían dentro del límite de imprecisión del método.

El amplio control cronológico disponible para la Isla de Tenerife, después de la realización de la cartografía paleomagnética, hace innecesaria la aplicación de este método como medio de deducir edades para las diferentes formaciones, pero permite un nuevo planteamiento. En efecto, dado que se conocen los límites de edad de estas formaciones, la comparación de las posiciones relativas de sus PVG nos puede dar información válida sobre posibles desplazamientos del bloque insular durante el período de emisión de los materiales que las constituyen.

Es indudable que si la deriva polar para la isla es igual o inferior a 0.45° /m. a., las diferencias en las posiciones de los distintos PVG no deberían, dada la edad de las formaciones de las que éstos se obtienen, ser detectables a nivel estadístico. Estas comprobaciones son de gran interés dadas las numerosas teorías aportadas

recientemente sobre el origen y comportamiento de las Canarias, todas ellas en dependencia de la existencia o carencia de desplazamientos del archipiélago en conjunto, de unas islas respecto a otras, o de partes de una isla entre sí.

En un intento de dilucidar el problema, se muestrearon un total de 38 localidades, repartidas por toda la superficie de la isla, con un total de 184 muestras. En este trabajo, las muestras se han obtenido después de la realización de la cartografía paleomagnética de la isla, por lo que tales muestras tienen siempre un control cronológico aproximado. La existencia de esta cartografía paleomagnética previa permitió la agrupación de estas localidades en tres grupos: a) Pleistoceno (0.0-1.6 m. a., Kennet et al., 1971); b) Plioceno (1.6-5.1 m. a., Hays y Opdyke, 1967) y c) Mioceno (5.1-25 m. a.).

El muestreo abarca todo tipo de materiales (lavas, almágres, piroclastos, tobas ácidas, etc.).

El esquema de muestreo se hizo con vistas a la realización de un análisis estadístico a dos niveles (Beales, Carracedo y Strangway, 1974) que diera mayor fiabilidad a los datos obtenidos (Fig. 17).

El análisis estadístico realizado es el fisheriano (Fisher, 1953), para el que se ha elaborado un programa de cálculo (PALMAG) que comprende dos niveles. Un primer nivel (sumario) calcula la Declinación, Inclinación e Intensidad media. El segundo nivel (análisis estadístico) empleó el método propuesto por Fisher (1953), dando el mismo peso unitario a todos los vectores (RM de las muestras), a fin de evitar el predominio en el cálculo de las direcciones medias de aquellas muestras de mayor intensidad de magnetización.

El análisis fisheriano representa cada muestra (vector RM) como un punto en una esfera. La medida del paralelismo de las magnetizaciones viene dada por el agrupamiento de los puntos, cuya expresión matemática es la kappa (k) de Fisher:

$$K = \frac{N - 1}{N - R}$$

donde N es el número de muestras y R el vector resultante.

La fiabilidad de las direcciones medias obtenidas puede estimarse por el radio del cálculo de la esfera en que exista una determinada probabilidad (P) de que tal dirección media esté comprendida. En la práctica suele tomarse, para este tipo de análisis, un nivel de confianza estadística del 95 % (α_{95}) que entonces queda definido como un cono (cono del 95 % de confianza estadística) cuyo semiángulo viene dado por:

$$\cos \alpha_{95} = 1 - \frac{N - R}{R} \left[\left(\frac{1}{0.05} \right)^{\frac{1}{N-1}} - 1 \right]$$

Las posiciones de los polos virtuales geomagnéticos (PVG) se calculan a partir de estas direcciones medias (Nagata, 1961).

CURVAS DE DERIVA POLAR. TENERIFE

Los cambios en dirección de la remanencia magnética correspondiente a las tres unidades determinadas (Pleistoceno, Plioceno y Mioceno) están indicadas en

MUESTRAS

LOCALIDADES

UNIDADES

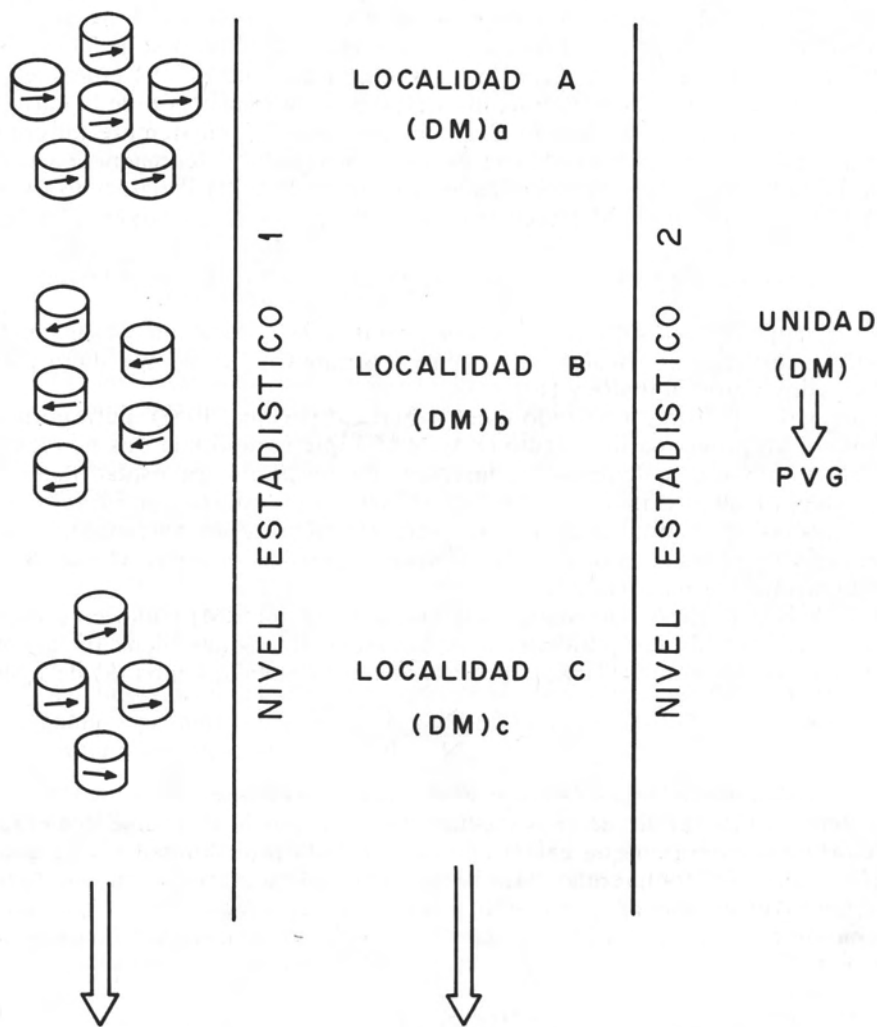


Fig. 17.—Esquema de muestreo realizado para la obtención de las curvas de deriva polar de Tenerife. DM-direcciones medias.

la figura 18 para valores de NRM y 200 oe AF. De la observación de esta figura se deduce la gran estabilidad media de estos materiales para todas las unidades, siendo los cambios en dirección durante el lavado AF despreciables.

En el cálculo de las direcciones medias y Polos Virtuales (PVG) se ha seguido el criterio de mínima dispersión (Irving et al., 1961) y se han eliminado aquellas localidades que arrojaran en el primer nivel del análisis estadístico, valores de k (Kappa de Fisher) inferiores a 25 (criterio de MCDougall y Chamalaun, 1966) o una latitud del PVG inferior a 45° .

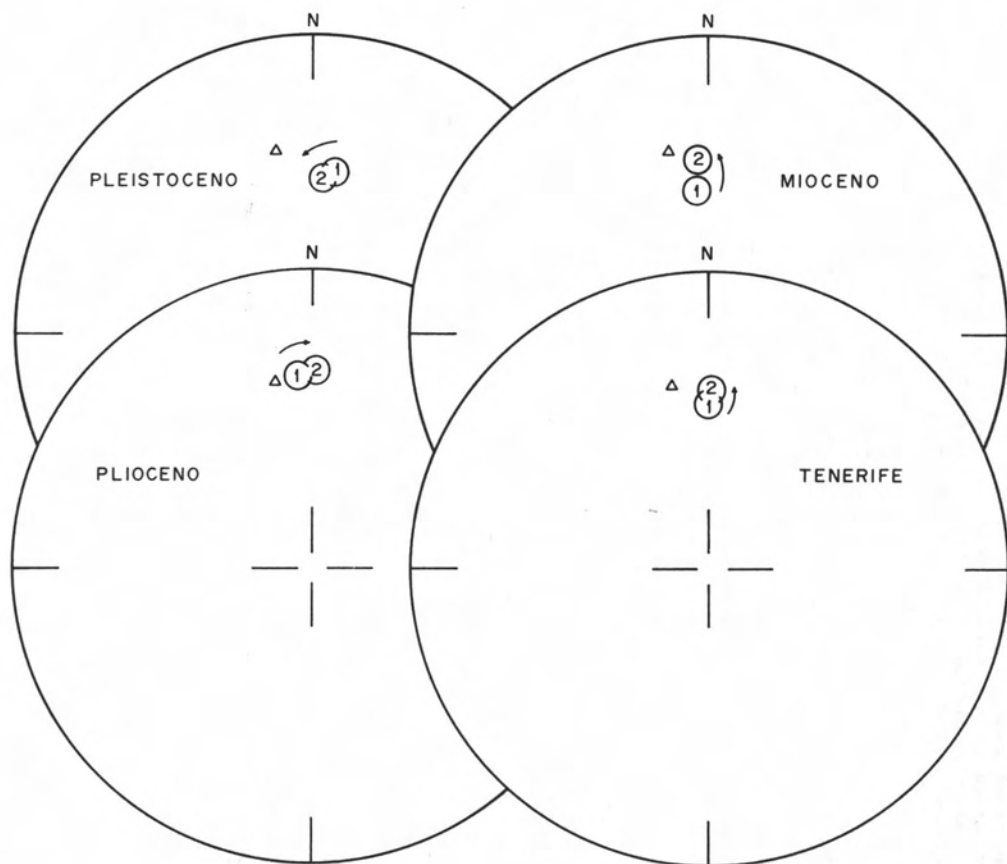


Fig. 18.—Estabilidad de las direcciones medias de magnetización de las diferentes unidades determinadas en Tenerife. 1-NRM, 2-200 oe. Triángulo-campo geomagnético actual.

En la figura 19 se indican en proyección estereográfica las localidades empleadas en el cálculo de las direcciones medias de magnetización de las tres unidades separadas, para valores AF de 0 (NRM) y 200 oe.

Finalmente, en la figura 20 se indican los datos paleomagnéticos obtenidos para las unidades determinadas y la proyección de las direcciones medias de magnetización y Polos Virtuales Geomagnéticos (PVG) correspondientes.

Estas direcciones medias pueden considerarse estadísticamente indiferenciables, como se deduce del solapamiento de los círculos de 95 % de confianza estadística de las tres unidades, así como del mejor agrupamiento resultante al unir todas las unidades con incrementos de la kappa de Fisher en un factor de 10.

Es posible en consecuencia apuntar que la dirección de magnetización remanente en los materiales de Tenerife no ha sufrido alteración apreciable en dirección, al menos en los últimos 7-8 m. a., siendo solamente detectables los cambios en polaridad de estas magnetizaciones remanentes.

Este hecho parece estar en consonancia con recientes observaciones que apo-

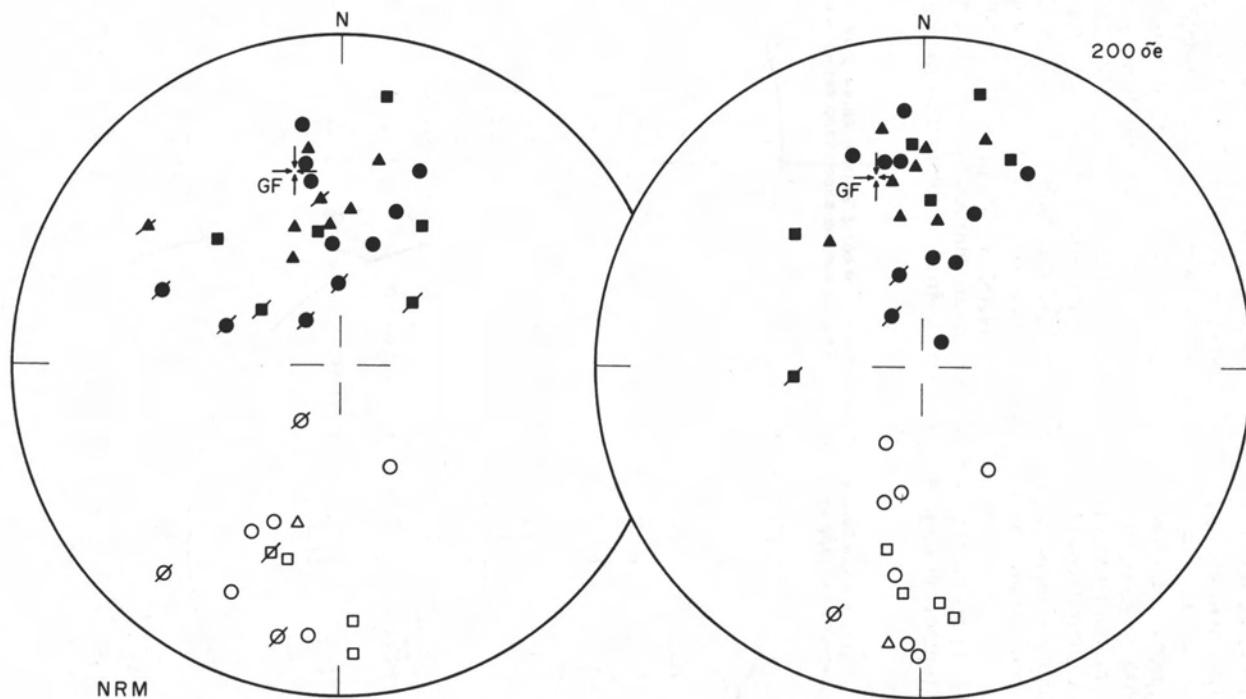


Fig. 19.—Direcciones medias de magnetización de las diferentes localidades (nivel estadístico 1) de Tenerife. Círculos-localidades del Pleistoceno. Cuadrados-Plioceno. Triángulos-Mioceno. Símbolos llenos-hemisferio superior; símbolos vacíos-hemisferio inferior. Símbolos con barra (Ø)-localidades eliminadas por excesiva dispersión. GF-campo geomagnético actual.

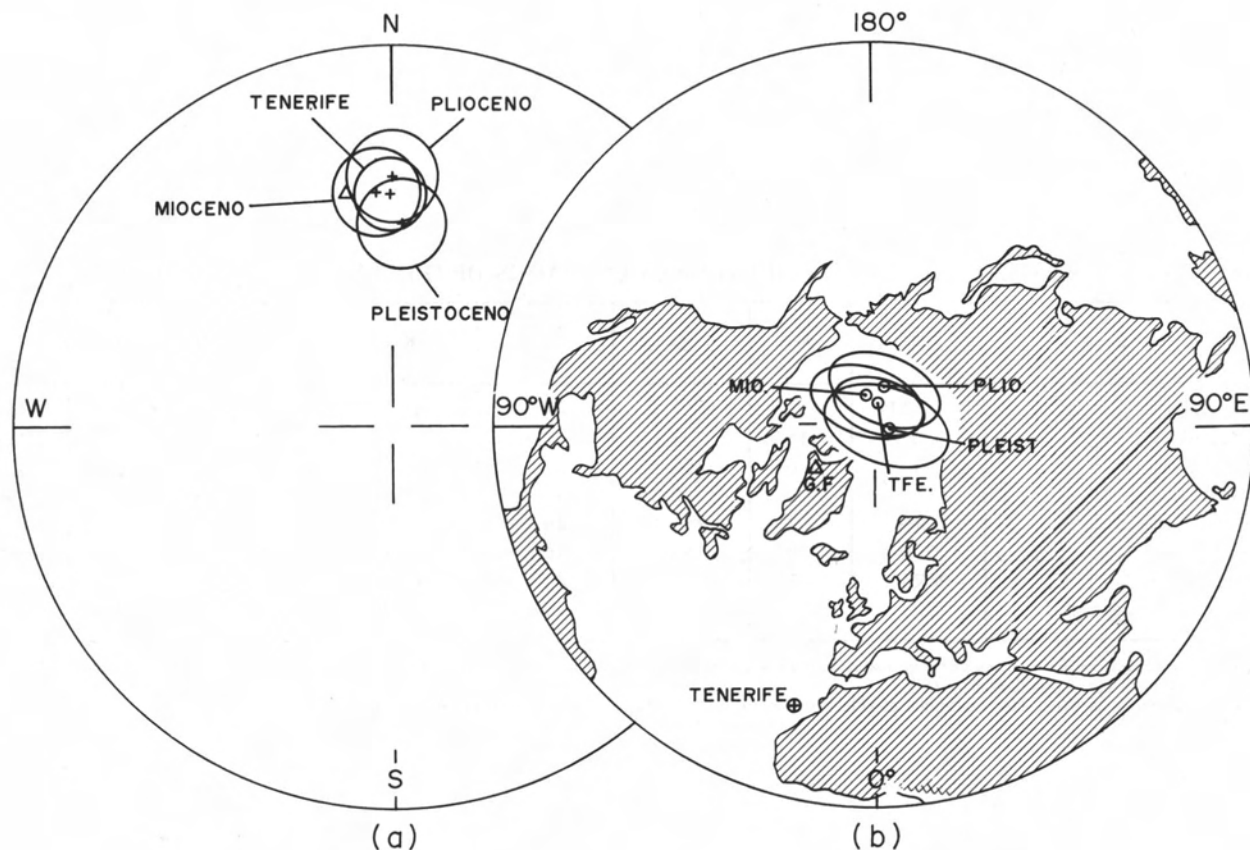


Fig. 20.—a) Direcciones medias de magnetización y círculos del 95 % de confianza estadística de las unidades determinadas y de la combinación de todas ellas («Tenerife»).
 b) Polos virtuales geomagnéticos y óvalos del 95 % de confianza estadística para las unidades de la figura a. Obsérvese el solapamiento de los óvalos que indica la estabilidad del bloque insular al menos desde el Mioceno.

ANALISIS PALEOMAGNETICO PARA LAS DIFERENTES UNIDADES DETERMINADAS EN LA ISLA DE TENERIFE

UNIDAD	H	N *	D	I	K	a 95	PVG	
							Lat.	Long.
Pleistoceno	NRM	12	7.4	44.1	18.5	10.3	83.3	268.6
Pleistoceno	200	15	3.1	44.8	11.2	10.1	86.7	253.4
Plioceno	NRM	6	356.1	34.7	13.1	19.2	80.2	173.9
Plioceno	200	9	0.5	35.0	21.5	11.3	81.1	199.0
Mioceno	NRM	8	356.1	49.6	43.2	8.5	85.9	72.1
Mioceno	200	9	356.6	38.6	24.5	10.6	82.0	170.0
Tenerife **	NRM	3	359.8	42.9	82.8	13.6	86.7	193.1
Tenerife	200	3	360.0	39.5	213.4	8.5	84.2	196.1

* Número de localidades por unidad una vez eliminadas aquellas localidades que en el nivel estadístico 1 presentasen $K < 25$ (criterio de McDougall y Chamalaun) o latitudes de los PVG correspondientes $< 45^\circ$.

** La unidad «Tenerife» agrupa a las tres unidades (Pleistoceno, Plioceno y Mioceno) determinadas en la Isla.

yan la hipótesis de una Placa Africana estacionaria (Burke y Wilson, 1972; Steiner, 1975; Block, 1971; Kroner, 1973).

Los Polos Virtuales Geomagnéticos (PVG) obtenidos para los materiales de Tenerife (ver Fig. 20), correspondientes al Pleistoceno, Plioceno y Mioceno muestran una gran similitud estadística como sugiere el solapamiento de los óvalos del 95 % de confianza estadística así como por la existencia de un mejor agrupamiento al unir las tres unidades en una («Tenerife», en la figura).

Parece pues evidente que el bloque insular ha permanecido esencialmente estable, sin desplazamientos horizontales detectables, al menos desde la época de emisión de los materiales más antiguos que hoy afloran en superficie.

APENDICE

Características magnéticas de diversos materiales
volcánicos de la isla de Tenerife.

**CARACTERISTICAS MAGNETICAS DE MATERIALES LAVICOS
REPRESENTATIVOS DE TENERIFE***

MATERIAL	NRM ($J \times 10^{-2}$ emu/cc)	Estabilidad (J_{200}/J_0) %
Basalto	0.541	52
Traquibasalto	0.404	40
Fonolita	0.066	50

* Valores medios obtenidos a partir de 136 muestras de diferentes coladas.

**CARACTERISTICAS MAGNETICAS DE UNA MUESTRA REPRESENTATIVA DE ALMAGRE
Y SU CORRESPONDIENTE COLADA**

Muestra	NRM $J \times 10^{-2}$ uem/ cc	Estabilidad de la NRM J_0/J_{200} (%)	Susceptibilidad paramagnética $X_p \times 10^{-6}$ (Gauss $oe^{-1}g^{-1}$)	Magnetización de saturación J_s uem/g	Tipo curva*	Peso equivalente (%)** magnetita
Colada (basalto) .	0.54	42	28.20	0.62	Redondeada baja X_{in}	0.67
Almagre	0.40	80	3.95	0.39	Redondeada alta X_{in}	0.42

* Bean (1955).

** Magnetización de saturación a temperatura ambiente 92 uem/g.
Todo el ferromagnetismo se supone debido a la magnetita.

CARACTERISTICAS MAGNETICAS DE UNA IGNIMBRITA REPRESENTATIVA DE TENERIFE

Muestra	Tipo	NRM $J_3 \times 10^{-2}$ emu/cc	Estab. (c. m. d.)	X_p^*	J_s	Peso equivalente (%) magnetita	Tipo curva
A2 (10)	Ash-flow	0.10	437 oe	5.26	0.60	0.65	Redondeada

* Mismos símbolos y unidades que en los cuadros anteriores.

CARACTERISTICAS MAGNETICAS DE INCLUSIONES Y SU ROCA CAJA CORRESPONDIENTE

Muestra	Tipo	Estabilidad magnética	$J \times 10^{-2}$ emu/g	Susceptibilidad paramagnética $X_p \times 10^{-6}$ (Gauss Oe g^{-1})	Magnetización de saturación J_s (emu g^{-1})	Wt. Equiv. % Fe_3O_4 (1)
X_1	Acumulado pirox.- anf.	muy alta	14.70	15.50	3.75	4.07
X_2	Acumulado anfíbol	media-alta	27.80	146.30	19.95	22.15
X_3	Enclave sienita	alta	0.02	0.26	0.41	0.44
H	Fonolita caja	media-alta	5.60	15.00	2.61	2.83

(1) Magnetización de saturación a temperatura ambiente 92 emu/g. Todo el ferromagnetismo se supone debido a la magnetita.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ABDEL-MONEM, A.; WATKINS, N. D. and GAST, P. W.

1971 Potassium-argon ages, volcanic stratigraphy and magnetic polarity history of the Canary Islands: Lanzarote, Fuerteventura and La Gomera. *Amer. Jour. Sci.*, 271: 490-521.

1972 Potassium-argon ages, volcanic stratigraphy and geomagnetic polarity history of the Canary Islands: Tenerife, La Palma and Hierro. *Amer. Jour. Sci.*, 272: 805-825.

ANGUITA, F. y HERNAN, F.

1975 A propagating fracture model versus a hot spot origin for the Canary Islands. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 27: 11-19.

ARAÑA, V.

1971 Litología y estructura del Edificio Cañadas, Tenerife (Islas Canarias). *Est. Geológicos*, 27, n.º 2: 95-137.

BEALES, F. W., CARRACEDO, J. C. and STRANGWAY, D. W.

1974 Paleomagnetism and the origin of Mississippi Valley-type ore deposits. *Can. Jour. of Earth. Sci.*, 11(2): 211-223.

BULLARD, E. C.

1968 Reversals of the Earth's magnetic field. *Phil. Trans. R. Soc.*, A263, 481.

BIRKELAND, P. W.

1963 Pleistocene volcanism and deformation of the Truckee area, North of Lake Tahoe. *Geol. Soc. of Amer.*, 74, n.º 12: 1.453-1.464.

BONHOMMET, N. and BABKINE, J.

1967 Sur la presence d'aimantations inverses dans la Chaîne des Puys. *Acad. Sci. Comptes Rendus*, 264: 92-94.

BRANDLE, J. L.

1973 Evolución geoquímica de los materiales sálicos y alcalinos de las isla de Tenerife. *Est. Geológicos*, 29: 5-51.

BRAVO, T.

1962 El Circo de Las Cañadas y sus dependencias. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 60: 93-103.

BURKE, K. and WILSON, J. T.

1972 Is the African plate stationary? *Nature*, 239: 387-390.

CARRACEDO, J. C.

- 1972 El magnetómetro astático del Dpto. de Petrología de la Universidad de Madrid. *Est. Geológicos*, 28: 359-373.
- 1974 Estratigrafía paleomagnética aplicada a la geología de terrenos volcánicos: Tenerife. *Simp. Int. Hidrogeol. Lanzarote*.
- 1974 Posibilidades de aplicación de la cartografía y estratigrafía magnéticas. *1.ª Asamblea Nac. de Geodesia y Geofísica*, pp. 1.389-1.410.
- 1975 Estudio paleomagnético de la isla de Tenerife. Tesis doctoral. *Universidad de Madrid*.

CHAMALAUN, F. M. and McDUGALL, I.

- 1966 Dating geomagnetic polarity epochs in Reunion. *Nature*, 210: 1.212-1.214.

COELLO, J.

- 1975 Las series volcánicas en subsuelos de Tenerife. *Est. Geológicos*, 29: 491-512.

COSTA, V., FERREIRA, M. P., MACEDO, R. y REYNOLDS, J.

- 1975 Rare-gas dating, a demountable metal system with low blanks. *Earth Planet. Sci. Letters*, 25: 131-160.

COX, A.

- 1969 Geomagnetic reversals. *Science*, 162: 237-245.

COX, A. and DALRYMPLE, B.

- 1967 Statistical analysis of geomagnetic reversals data and the precision of potassium-argon dating. *Jour. Geophys. Res.*, 72: 2.603-2.614.

DALRYMPLE, G. B. and LAMPHERE, M. A.

- 1969 Potassium-argon dating. Principles, techniques and application to Geochronology. *Freeman, San Francisco*, 258 pp.

DOELL, R. R. and DALRYMPLE, G. B.

- 1966 Geomagnetic polarity epochs: a new polarity event and the age of the Brunhes-Matuyama boundary. *Science*, 152: 1.060-1.061.

AINARSSON, T.

- 1958 Development age of topography in the mountains between Skagafrördur and Humavatussysla. *Natturafraedingurinn*, 28: 1-2.

FISHER, R. A.

- 1953 Dispersion on a sphere. *Proc. Roy. Soc. (London)*, Ser. A, 217: 295-305.

FOSTER, J. and BPDYKE, N. D.

- 1970 Upper Miocene to Recent magnetic stratigraphy in deep-sea sediments. *Jour. Geophys. Res.*, 75: 4.465-4.475.

FUSTER, J. M., ARAÑA, V., BRANDLE, J. L., NAVARRO, J. M., ALONSO, U. y APARICIO, A.

- 1968 *Geología y volcanología de las Islas Canarias: Tenerife*. Inst. Lucas Mallada, C.S.II.C., 218 pp.

FRITSCH, K. and REISS, W.

- 1968 *Geologische Beschreibung der Insel Tenerife*. Wuister und Co. Winterthur, 496 pp.

- GASTESI, P.
1967 Sobre unas rocas granudas básicas encontradas en Tenerife (Islas Canarias). *Estud. Geológicos*, 23: 81-84.
- GROMME, C. S.
1971 Geomagnetic polarity epochs: age and duration of the Olduvai normal polarity event. *Earth Planet. Sci. Letters*, 10: 179-183.
- HAUSEN, H.
1956 Contribution to the geology of Tenerife. *Soc. Sci. Fennica Com. Phys. Math.*, 18-1: 247 pp.
- HAYS, J. D. and OPDYKE, N. D.
1967 Antarctic radiolaria, magnetic reversals and climatic change. *Science*, 158: 1.001-1.010.
- HEINRICHS, D. F.
1967 Paleomagnetism of the Plio-Pleistocene Lousetown Formation, Virginia City, Nevada. *J. Geophys. Res.*, 72: 3.277-3.295.
- HEIRTZLER, J. R., DIKSON, O., HERRON, E. N., PITMAN, W. C. and LE PICHON, X.
1968 Marine magnetic anomalies, geomagnetic field reversals and motions of the ocean floor and continents. *Jour. Geophys. Res.*, 73: 2.119-2.136.
- HESS, H. H.
1962 History of Ocean Basins in petrologic studies: A volume to Honor A. F. Bouddington. *Geol. Soc. Amer.*, 599 pp.
- IBARROLA, E.
1970 Variabilidad de los magmas basálticos en las Canarias Orientales y Centrales. *Estud. Geológicos*, 29: 5-51.
- KENNET, J. P., WATKINS, N. D. and VELLA, P.
1971 Paleomagnetic chronology of Pliocene-Early Pleistocene climates and the Plio-Pleistocene boundary in New Zealand. *Science*, 171: 276-279.
- KHAN, M. A.
1960 The remanent magnetization of the basic tertiary igneous rocks of Skye. *Geophys. J.*, 3: 45-62.
- MCDUGALL, I. and SCHMINCKE, H. U.
1977 Geochronology of Gran Canaria, Canary Islands. *Bull. Volcanol.* 40, 1.
- MCDUGALL, I. and WENSINK, H.
1966 Paleomagnetism and geochronology of the Pliocene-Pleistocene lavas in Iceland. *Earth Planet. Sci. Letters*, 1: 232-236.
- NAGATA, T.
1961 *Rock Magnetism*. Maruzen, Tokyo, 350 pp.
- NAVARRO, J. M.
1974 La estructura geológica de Tenerife y su influencia en la hidrogeología *Simp. Inter. Hidrogeol. Lanzarote*. Islas Canarias.
- NEEL, L.
1955 Some theoretical aspects of rock magnetism. *Advan. Phys.*, 4: 191-243.

- OPDYKE, N. D.
1964 The paleomagnetization of the permian red beds of SW Tanganyka. *J. Geophys. Res.*, 69: 2.477-2.487.
- PIPER, J.
1971 Ground magnetic studies of coastal growth in Iceland. *Earth Planet. Sci. Letters*, 12: 199-207.
1972 Volcanic history and tectonics of the North Langjokull Region, Central Iceland. *Can. J. Earth Sci.*, 10: 164-179.
- REA, D. K. and SLAKELY, R. J.
1975 Short-wavelength magnetic anomalies in a region of rapid seafloor spreading. *Nature*, 225: 126-128.
- RONA, P. A. and NALWALK, A. J.
1970 Post-Early Pliocene unconformity on Fuerteventura (Canary Islands). *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 81: 2.117-2.122.
- STEINER, N. B.
1975 Mesozoic apparent polar wander and Atlantic plate-tectonics. *Nature*, 254: 108-109.
- TALWANI, M., WINDISCH, C. C. and LANGSETH, W. G.
1971 Renykjanes Ridge crest: a detailed geophysical study. *Jour. Geophys. Res.*, 76: 473-517.
- THELLIER, E.
1938 Sur l'aimantation des terres cuites et ses applications géophysiques. *Ann. Inst. Phys. Globe Univ. Paris Bur. Central Magnetisme Terrestre*, 16: 157-302.
- WATKINS, N. D.
1966 Paleomagnetism of the Macaronesian insular region; The Canary Islands. *Earth Planet. Sci. Letters*, 1: 225-231.
1972 Review of the development of the geomagnetic polarity scale and discussion of prospects for its finer definition. *Geol. Soc. Amer.*, 83: 551-574.
1974 Paleomagnetism of the Canary Islands and Madeira. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 32, 19 pp.
- WATKINS, N. D. and HAGGERTY, R.
1968 Oxidation and magnetic polarity in single Icelandic lavas and dykes. *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 15, 305.
- WILSON, T.
1963 Mantle plumes and plate motions. *Tectonophysics*, 19: 49-164.
- WOLFF, F. VON
1931 Der Vulkanismus, Vol. III Sgez. Teil; Teil 2. Die Alte Welt Lieferung 1. *Der Atlantische Ozean*, pp. 829-1.111. Stuttgart.